

A komplexitás csapdájában

Az ember, az oroszlán és a vírus

Boda Dezső

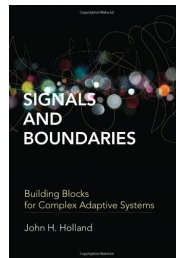
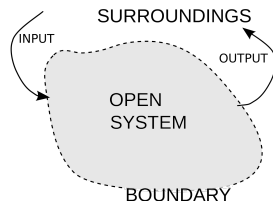
Komplex Molekuláris Rendszerek Kutatócsoport, Természettudományi Központ, Pannon Egyetem
Felsőbbfokú Tanulmányok Intézete, Kőszeg (iASK)

dezsoboda@gmail.com

2021 Március 8.

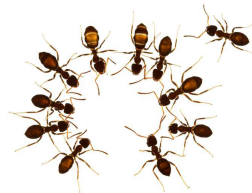
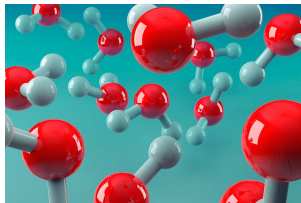
Komplex rendszerekről általában

- **Rendszer: határok és jelek**
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



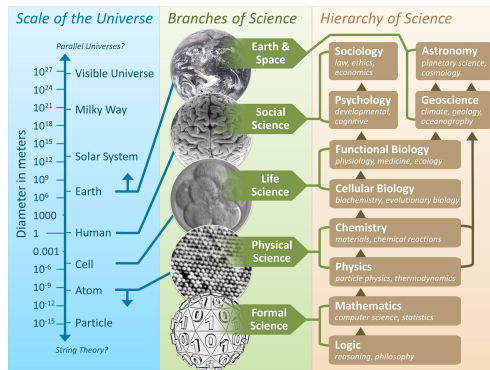
Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- **Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok**
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



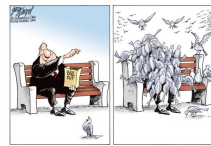
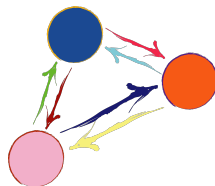
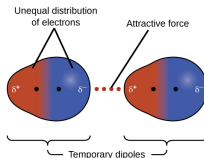
Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- **Hierarchikus: hosszúság- és időskálák**
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



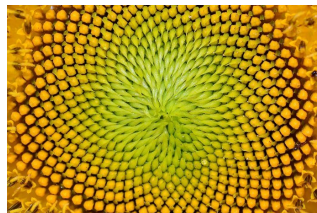
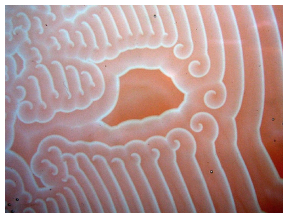
Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- **Kölcsönhatások: stimulus és válasz**
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



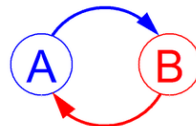
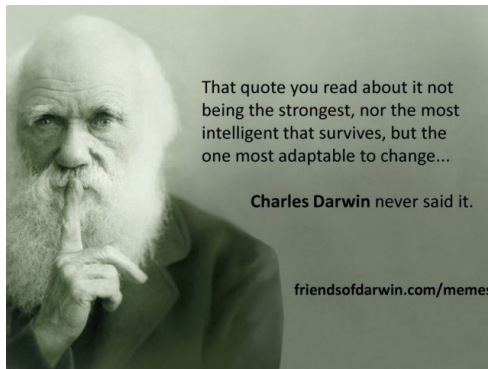
Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- **Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok**
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



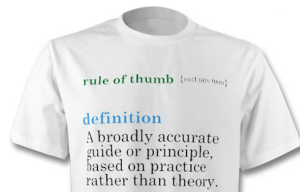
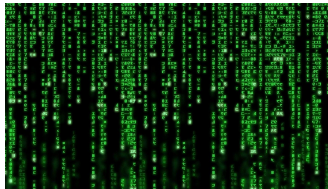
Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- **Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján**
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



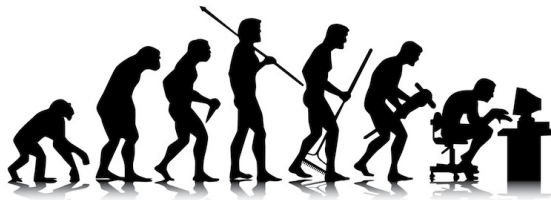
Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- **Kódok, szabályok, törvények, stratégiák**
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés

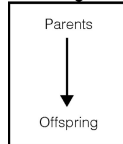


Komplex rendszerekről általában

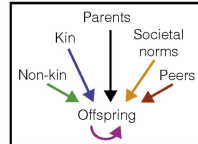
- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- **Evolúció: a szabályok megváltozása fitness alapján**
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



Human genes

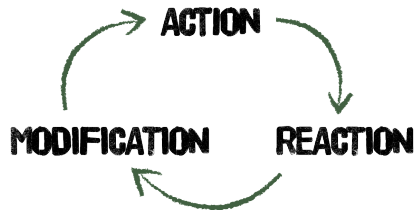


Human culture



Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- **Ciklusok: tanulás, visszajelzés**
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- Önszerveződés vs. tervezés



Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fittség alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- **Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása**
- Önszerveződés vs. tervezés



Komplex rendszerekről általában

- Rendszer: határok és jelek
- Komponensek, ágensek, építőkövek, modulok
- Hierarchikus: hosszúság- és időskálák
- Kölcsönhatások: stimulus és válasz
- Emergencia: mikroállapot → makroállapot, mintázatok
- Adaptáció: változó viselkedés visszacsatolás alapján
- Kódok, szabályok, törvények, stratégiák
- Evolúció: a szabályok megváltozása fitness alapján
- Ciklusok: tanulás, visszajelzés
- Szabályok diverzitása → kölcsönhatások diverzitása → komplex rendszerek diverzitása
- **Önszerveződés vs. tervezés**



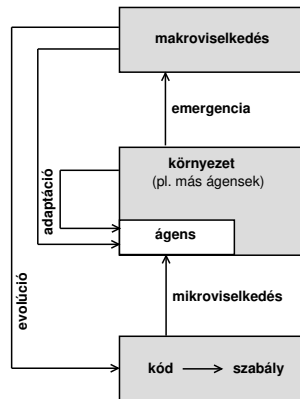
Termites

vs.

Gaudi

A kerettörténet avagy a modell

- **Komplex rendszerek** nagyon sok kölcsönható **komponensből** (ágensből) állnak.
- Az ágensek (mikro)viselkedését (stratégiáját) szabályok irányítják.
- A szabályok valahogy kódolva vannak.
- Az ágensek viselkedését a rendszer visszacsatolások által szabályozza a rövid időskálán (adaptáció).
- Az ágensek (mikro)viselkedése a teljes rendszer egy emergens (makro)viselkedéséhez vezet.
- Az ágensek viselkedését szabályozó kódok/szabályok visszacsatolások és szelekció által változnak hosszú időskálán (evolúció).
- Hogy működik ez a modell a különböző rendszerekben?
 - **Fizika:** az ágensek molekulák, atomok
 - **Biológia:** az ágensek pl. sejtek, egyedek, stb.
 - **Társadalom:** az ágensek emberek
- Mik a kódok ezekben az esetekben? Hol vannak tárolva? Képesek a változásra? Mi a kapcsolat a kódok és szabályok között?



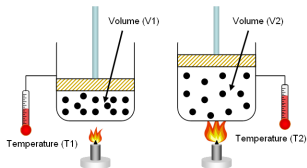
Viselkedés, szabály, kód

Fizika

Kód: Fizikai alaptörvények, kvantummechanika, elektrodinamika → a molekulák között ható kölcsönhatások

Szabály: Empirikus törvények, pl. $V/T = \text{állandó}$ (Gay-Lussac I.)

Viselkedés: Kísérlet, észlelt mintázatok, pl. a gáz kitágul, ha melegíted

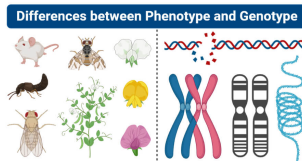


Biológia

Kód DNS, genotípus → drótozás az agyban

Szabály Emberi nyelven leírható „reversed engineered” szabályok, pl. madárraj viselkedését leíró szabályok

Viselkedés Fenotípus: észlelt viselkedés (etológia), testfelépítés, fiziológia, stb.



Társadalom

Kód Gének, társadalmi szabályok → drótozás az agyban (mémek?)

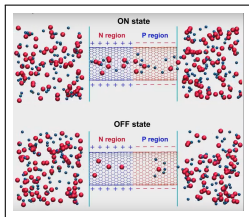
Szabály Emberi nyelven leírható direkt vagy „reversed engineered” szabályok, pl. KRESZ vagy „tit for tat”

Viselkedés észlelt viselkedés egyéni és társadalmi szinten → adatok



Egyenirányító nanopórus

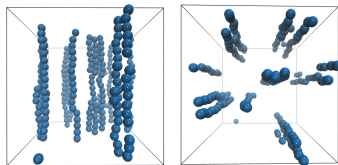
- Egy bipoláris nanopóruson ionok áramlanak át elektromos feszültség hatására
- A nanopórus a feszültség egyik előjelénél jobban vezeti az ionáramot, mint a másikonál (dióda viselkedés).
- Mi az egyenirányítás molekuláris mechanizmusa?



Ható et al. *Phys. Chem. Chem. Phys.* **19**(27):17816, 2017

Elektroreológiai folyadék

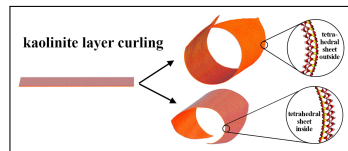
- Szilikon olajban diszpergált kis gömbök elektromos tér hatására láncokba szerveződnek
- Ennek hatására megváltozik a folyadék viszkozitása
- Fékekben, sebességváltókban használható
- Mi a láncképződés dinamikája?



Fertig et al. *AIP Adv.* **11**(2):025243, 2021.

Feltekeredő kaolinit lapka

- Kis kaolinit lapka (két atom-réteg) spontán módon feltekeredik kis nanotercsű (nanoscroll)
- Mi a feltekeredés iránya? Az ilyen kérdésekre a válasz nem mindig nyilvánvaló. Modellező számításokkal megválaszolható.
- Több millió atomnyi molekuláris dinamikai szimuláció



Ható et al. *Comp. Mater. Sci.* **186**:110037, 2021.

Madárrajok (flock of birds)

A szabályok:

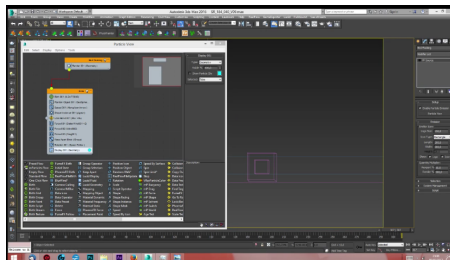
- Próbálj abba az irányba repülni, mint a szomszéd!
- Próbálj közel maradni hozzá!
- Próbálj nem nekimenni!

Támadó sólyom kudarca



<https://www.youtube.com/watch?v=bb9ZTbYGRdc>

Madárraj szimulációja:



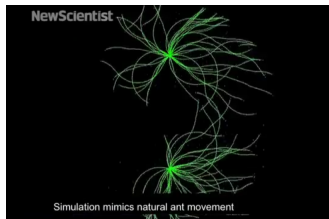
https://www.youtube.com/watch?v=VyZZE4H1G_w

Gyűjtögető hangyák (foraging ants)

- A nyálkagombánál látott szabályok optimalizálják a két versengő folyamatot: (1) már megtalált kaja begyűjtése, (2) új kaja találása
- Nincs központi kontroll - „*The Myth of the Ant Queen*”

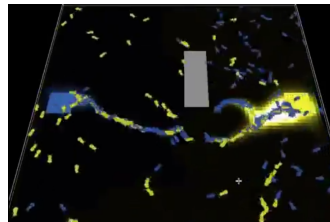


Mesterséges feromon nyom „irányítja” a hangyákat:



<https://www.youtube.com/watch?v=guJYjmo-f08>

Útvonalak kialakulásának számítógépes szimulációja:



<https://youtu.be/a1JapoKF5bM>

Nyálkagombák (slime mold)

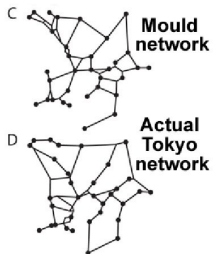
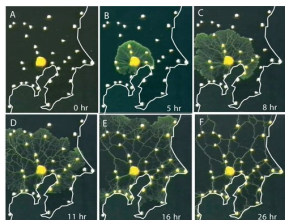
- Amennyiben sok táplálék áll rendelkezésre, különálló sejtenként léteznek.
- Éhínség idején együttműködő sejtek csoportjává aggregálódnak.
- Az így előálló komplex rendszer egy emergens viselkedést mutat: adaptálódik a környezethez (kaja jelenléte).
- Ha egy sejt kaját talál, kémiai jelet (cyclic AMP) produkál, amit a többi sejt érzékel.
- **Önszerveződés:** nincs jelen nyálkagomba-generális (habár keresték)



https://youtu.be/GY_uMH8Xpy0

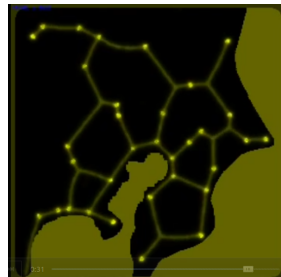
- Lokális szabályok írják le a sejtek viselkedését, amik nagyon hasonlóak (annak tűnnek) a **gyűjtögető hangyák** (foraging ants) viselkedését kódoló szabályokhoz.
- ① kövesd a mások által hagyott feromon nyomot x valószínűséggel az általuk talált kaja kitermelése érdekében (**order**)
- ② vándorolj körbe véletlenszerűen $1 - x$ valószínűséggel új források feltárása érdekében (**disorder**)

Az „intelligens” nyálkagomba



<http://scienceblogs.com/notrocketscience/2010/01/21/slime-mould-attacks-simulates-tokyo-rail-network/>

<https://youtu.be/GwKuFRE0gmo>



<https://youtu.be/5qcAh29b4TA>

- A tokioi metróhálózat reprodukálása (optimalizálási probléma megoldása).
- Számítógépes szimulációk reprodukálták a megfelelő szabályok beprogramozásával:

Méhek „mexikói hulláma”

A szabályok:

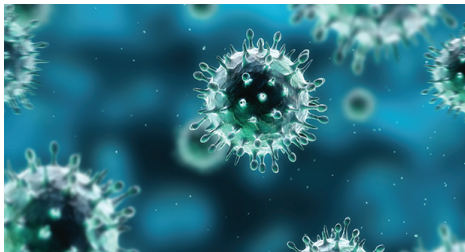
- 1 lengesd meg a potrohodat, ha látsz egy darazsot, vagy
- 2 lengesd meg a potrohodat, ha a szomszéd is meglengette



Kastberger et al. Complex social waves of giant honeybees provoked by a dummy wasp support the special-agent hypothesis. *Communicative & Integrative Biology*, 3(2):179–180, 2010.

Az immunrendszer

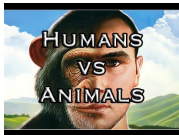
- Az immunrendszer nagyon sok különböző típusú sejtből áll, amik a teljes szervezetben jelen vannak
- Hatékony, önszervező módon működnek együtt mindenféle központi kontroll nélkül.
- A fehérvérsejtek (limfociták) felismerik a behatolót azáltal, hogy hozzájuk kötődnek.
- Nagy mennyiségű antitestet bocsátanak ki, amik szelektív módon felkutatják és elpusztítják a betolakodókat.
- Osztódással új fehérvérsejteket produkálnak, amik nem feltétlenül tökéletesen azonosak az „anyasejttel”
- Ez egy lokális „evolúciót” hoz létre, egy tanulási képességet – **order and disorder**



Örökölt vs. tanult szabályok (Nature vs. Nurture)

Örökölt, génekben kódolt szabályok (Nature)

- 4F, azaz a **4 fő ösztön** („drive”)
 - **Harc** („Fight”) – düh
 - **Menekülés** („Flee”) – félelem
 - **Táplálkozás** („Feed”) – éhség
 - **Szaporodás** („Fu**”) – vágy
- **Agy** fejlődése evolúciós előnyt jelentett az adaptációban
 - **Memória**: múltbeli tapasztalatra való emlékezés
 - „Visszacsatolás a múltba”: **tanulás** – nem követjük el kétszer ugyanazt a hibát
 - **Kockázatfelmérés** („risk management”)
 - **Absztrakciós** képesség
 - **Nyelvhasználat**
- Állati társadalmak: a szabályok az **együttműködést** segítik – evolúciós előny
- A szabályok végső soron az agyban tárolódnak

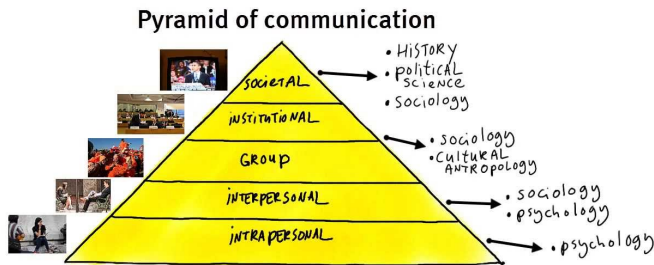


Tanult szabályok (Nurture)

- A **nyelvhasználat** evolúciós ugrás volt (ld. Maynard Smith, Szathmáry: Az evolúció nagy lépései): a szabályok megalkotásának, átadásának, és tárolásának mechanizmusa is szintet lépett
 - **Invenció**: ha valaki új szabályt talált ki vagy a meglévőket javította (pl. technológia), tudta kommunikálni a többiek felé
 - **Átadás**: előző generációk tudását is könnyebb volt megőrizni (vének), de horizontális módon is működik az információ átadása (a génekkel ellentétben)
 - **Tárolás**: az írás kifejlődésével kiváltképp hatékonyá vált
- A tanult szabályok is az **együttműködést** segítik – nyilvánvalóan evolúciós előnnyel jártak → **kulturális evolúció**
- Az egyén szintjén a tanult szabályok szintén az agyban tárolódnak
- A kétféle szabályrendszer az agyban „keveredik” → **koevolúció**
- **Memetika**: a genetikával vont erős analógia tudománya

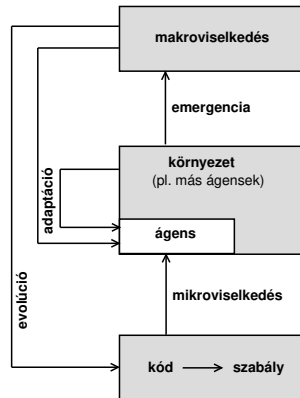
A kulturális evolúció

- Milyen szinten történik a szelekció?
 - Egyén → egyén: figyelem (4F, kognitív disszonancia, visszhangkamrák), az agyban zajlik
 - egyén ↔ egyén: kommunikáció (Érdemes továbbadni?)
 - Egyéni viselkedés (Meváltoztatja a kapott információ a viselkedésemet?)
 - Csoportviselkedés (A kollektív szabályhalmaz részévé válik az új információ?)
- A különböző szinteken más a fitness-függvény: a genetikai kódokkal (4F), létező kognitív sémákkal való kompatibilitás, az egyén „sikere”, a közösség „sikere”
- Az evolúciós mechanizmus jobban (tisztábban) működik, ha a fitness kritériuma külső és nem nagyon függ a rendszertől
- Ha kritérium belső („emergent fitness”): körkörös érvelés – ami győz, az fittebb, ami fittebb, az győz



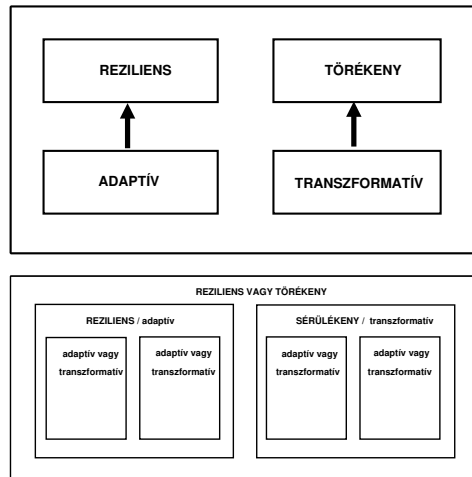
Adaptáció

- Az adaptáció során az ágensek **alkalmazkodnak** (megváltoztatják a viselkedésüket)
 - más ágensek viselkedéséhez (pl. a tőlük érkező jelek alapján)
 - a megváltozott külső körülményekhez
- **Direkt adaptáció:** a szabályok magukban hordozzák a viselkedési alternatívákat (IF...ELSEIF...THEN szerkezetű kódok), azaz az adaptáció pusztán a szabályok alkalmazása.
- Adaptáció a **szabályok megváltoztatása** révén
 - **Rövid időskálán:** kreativitás, invenció, tanulás, utánpótlás, stb. – intelligenciát feltételező mechanizmusok
 - **Hosszú időskálán:** evolúciós visszacsatolás → azok a rendszerek maradnak „életben”, amik a megfelelő módon képesek a szabályok megváltoztatására
- **Identitás:** azon alapvető szabályok összessége, amelyek amelyek a rendszer
 - funkcióját
 - struktúráját
 - visszacsatolási mechanizmusait
 meghatározzák. Hosszú távon ugyanaz marad, ld. fajok, társadalmi berendezkedések, vallások, nemzetek, stb.
- **Evolúció:** kis lépésekben megváltoztatja az identitást fittségi visszacsatolások alapján



Reziliencia, törékenység, transzformáció

- **Reziliencia:** a rendszer azon képessége, hogy „abszorbeálja” a külső behatásokat (diszturbanciákat), azaz megváltoztassa a viselkedését (a szabályokat) úgy, hogy az identitása (alapszabályok) ne változzon.
- **Adaptivitás:** az ágensnek azon képessége, hogy hozzájáruljon a rendszer rezilienciájához.
- **Transzformálhatóság:** az ágensnek azon képessége, hogy nagy mértékben megváltoztassák a viselkedésüket (az alapszabályokat), amennyiben a külső körülmények változásai ezt szükségessé teszik (változás az identitásban).
- **Törékenység:** ha a rendszer törékeny, akkor nem reziliens; a változás nem adaptációk (kis lépésekben), hanem gyors és nagymértékű átalakulás útján történik. Ez alapvető strukturális változtatásokkal jár és a rendszer identitásának megváltozásával jár együtt. (Holling és mtsai definíciói¹)
- Egy komplex rendszer mindig hierarchikus, azaz, hogy mi a „rendszer” és hogy mi az „ágens”, az nézőpont kérdése. Általában egymásba ágyazott hierarchikus rendszerekről van szó: ami az egyik szinten „rendszer”, a másik szinten „ágens”.



¹B. Walker, C. S. Holling, S. R. Carpenter, and A. P. Kinzig. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 2004.

Külső hatások kezelése – veszélyhelyzet

- Veszélyhelyzet a **szavannán**: „támad az oroszlán” – örökölt adaptációs mechanizmusok (általában menekülés)
- **Az ember agya erre van drótozva**: direkt, jól átlátható, kiszámítható (ok-okozat) fenyegetés.
- A mai **globalizált** világunk (társadalom + technológia + gazdaság + természet) egy óriási komplex rendszert képez.
- Minél komplexebb egy rendszer, annál **nehezebben megjósolható** a viselkedése, azaz egy külső behatásra adott válasza.
- A probléma alapja, hogy **a rendszer válasza (reziliencia) az ágensek válaszán (adaptáció) alapszik**. Ők márpedig a fejükben már meglévő szabályrendszer alapján próbálnak adaptálódni (status quo fenntartása).
 - **COVID járvány**: a folyamatok, a statisztikus (valószínűségi) viselkedés nem értése → zavarodottság, véleménybuborékokba való menekülés
 - **Klímaváltozás**: az „alkalmazkodás” azt jelenti, hogy a célfüggvény az életszínvonal fenntartása (önkiszákmányolás, mókuserék). Nyilvánvaló zsákutca. Amíg nem érkezik olyan mértékű visszacsatolás, ami az emberek viselkedésének jelentős mértékű megváltozását okozza, addig nem lesz javulás. Ennek **transzformációnak** kell lenni, **identitásváltással** fog járni: *nagyvárosi jóléti fogyasztó → vidéki, a mindennapi fennmaradásért küzdő paraszt*

A KOMPLEXITÁS CSAPDÁJÁBAN

TUDOMÁNY

A KOCSMÁBAN

2021.03.08.
18:00



AZ EMBER, AZ OROSLÁN ÉS A VÍRUS

ELŐADÓ: BODA DEZSŐ
(FIZIKUS, KUTATÓ FTI-IASK)

iASK

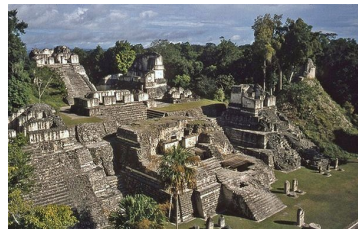
Mi van, ha a transzformáció se sikerül?

- **Múltbeli összeomlások** (ld. Jared Diamond: Összeomlás)
 - Anaszázi indiánok (amerikai délnyugat, 11-13. század)



Mi van, ha a transzformáció se sikerül?

- **Múltbeli összeomlások** (ld. Jared Diamond: Összeomlás)
 - Anaszázi indiánok (amerikai délnyugat, 11-13. század)
 - Maják (Yukatán félsziget, Közép-Amerika, 1. évezred)



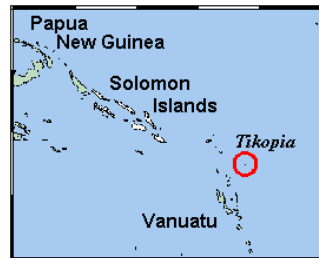
Mi van, ha a transzformáció se sikerül?

- **Múltbeli összeomlások** (ld. Jared Diamond: Összeomlás)
 - Anaszázi indiánok (amerikai délnyugat, 11-13. század)
 - Maják (Yukatán félsziget, Közép-Amerika, 1. évezred)
 - Grönlandi vikingek (Grönland, 11-15. század)



Mi van, ha a transzformáció se sikerül?

- **Múltbeli összeomlások** (Id. Jared Diamond: Összeomlás)
 - Anaszázi indiánok (amerikai délnyugat, 11-13. század)
 - Maják (Yukatán félsziget, Közép-Amerika, 1. évezred)
 - Grönlandi vikingek (Grönland, 11-15. század)
- **Közös mintázat:** mezőgazdaság → hierarchikus komplex társadalom → népességnövekedést → erdők kivágása → természeti környezet kiszigerelése → erózió → sérülékenységi → klímaváltozás → szabályok megváltozására való képtelenség → összeomlás
- **Pozitív példák:**
 - **Tikopia sziget** - születésszabályozás (kis népesség, alulról-fölfelé való szabálymódosítás)
 - **Japán a shogunátus korában** – erdőmenedzsment (felvilágosult abszolutizmus, felülről-lefelé való szabálymódosítás)
- **Közös mintázat:**
 - Egyének adaptációs képessége
 - „Felvilágosult” gondolkodás – előrelátás, proaktivitás
 - Tudomány eredményeinek felhasználása
 - Komplex módon való gondolkodás



A reklám helye

- Boda Dezső: Komplexitás a természetben és a társadalomban: A táncoló molekuláktól az összeomló társadalmakig

