

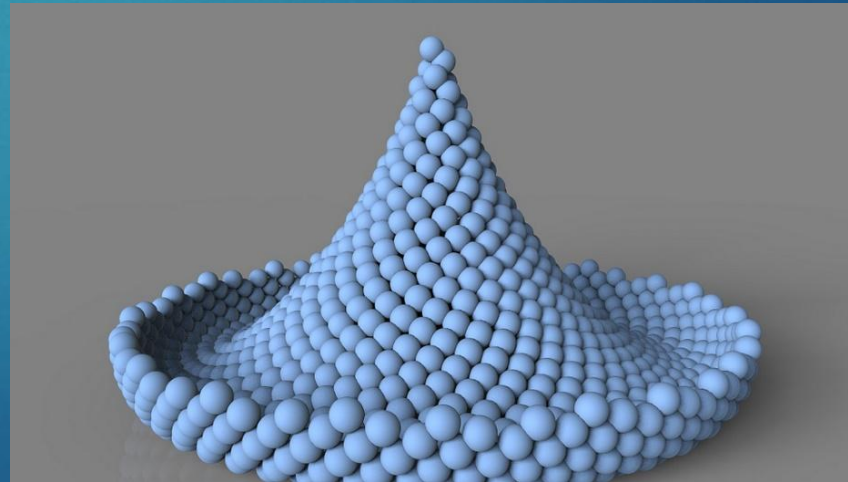
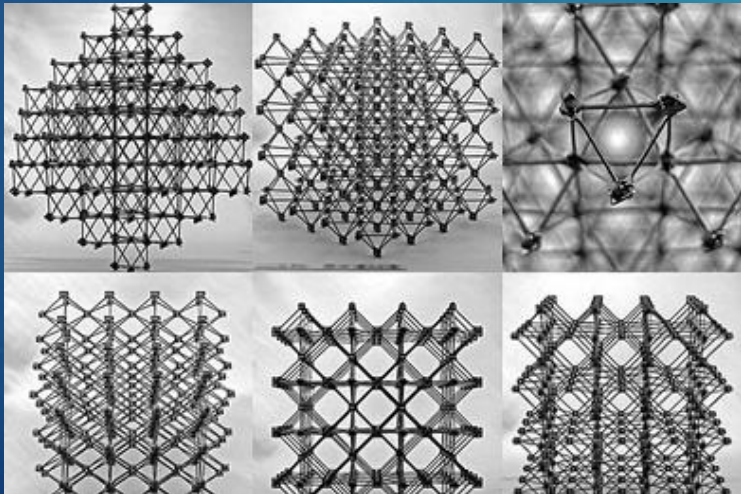
The Structural Power of Reconfigurable Circuits in the Amoebot Model

Átprogramozható Áramkörök Szerkezeti Ereje az
Amőba Modellben

KÉSZÍTETTE: BÉRES GÁBOR KRISTÓF, TÓTH BOTOND, WERNER BENDEGÚZ

Bevezetés az amőbamodellebe

- ▶ Az amőbamodell egy programozható anyagot ír le, amely apró, robotikus egységekből (*amőbotokból*) áll.
- ▶ Ezek az egységek egy végtelen háromszög rácsra helyezkednek el, és képesek mozogni tágulás és összehúzódás révén.
- ▶ A cél a kollektív viselkedés vizsgálata és optimalizálása.



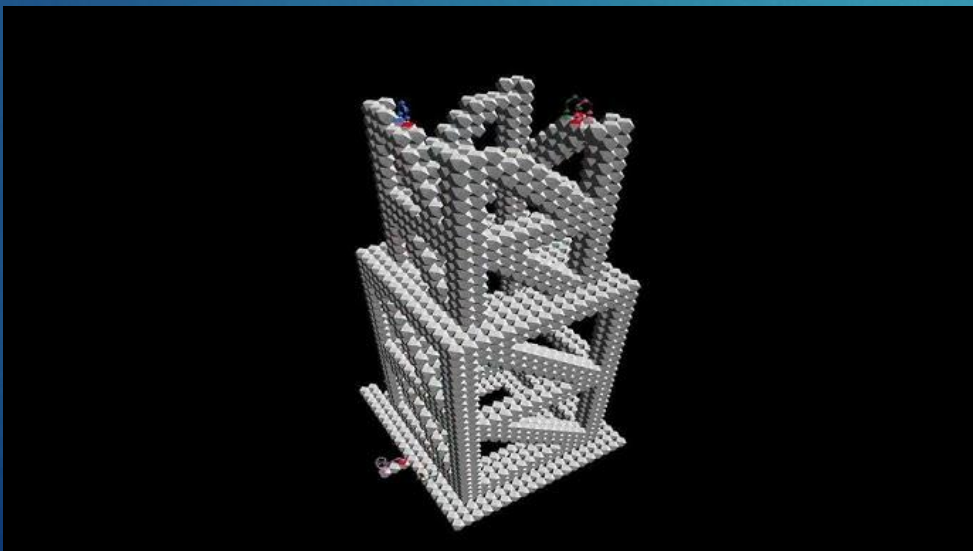
Fő kutatási kérdések a cikkben

- ▶ Stripe problem vagy Csík probléma
- ▶ Globális maximum probléma
- ▶ Csontváz-probléma
- ▶ Spanning tree létrehozása
- ▶ Szimmetria detektálás

Problem	Required pins	Runtime
Stripe	2	$O(\log n)$
Global maxima	2	$O(\log^2 n)$ w.h.p.
Canonical skeleton	4	$O(\log^2 n)$ w.h.p.
Spanning tree	4	$O(\log^2 n)$ w.h.p.
Symmetry detection	4	$O(\log^5 n)$ w.h.p.

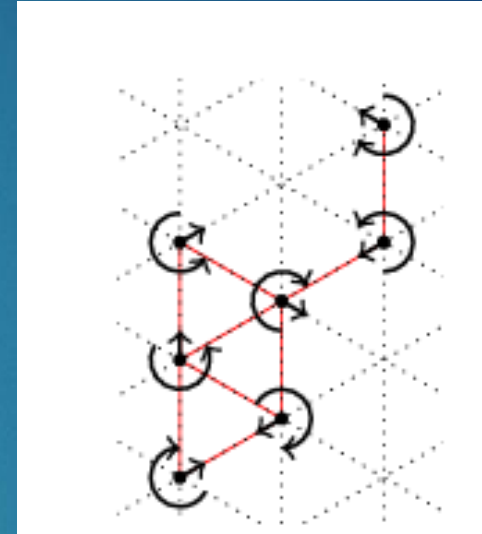
Alkalmazások és jelentőség

- ▶ Az amőbamodellel és az átprogramozható áramkörök **gyors alakváltásra, energiahatékony adatátvitelre, és szerkezeti monitorozásra** használhatók.
- ▶ Az új megközelítések **polilogaritmikus időbonyolultságot** érnek el, jelentős teljesítményjavulást kínálva.



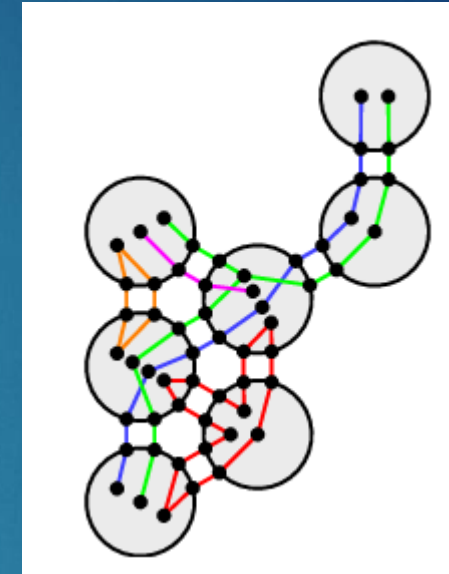
Modell felépülése

- ▶ Végtelen háromszög gráf rács
- ▶ Helyi mozgások (összehúzódnás, tágulás)
- ▶ Minden csúcson legfeljebb 1 amoebot
- ▶ Közös irány orientáció
- ▶ Minden amoebot összehúzódott
- ▶ Összefüggőek

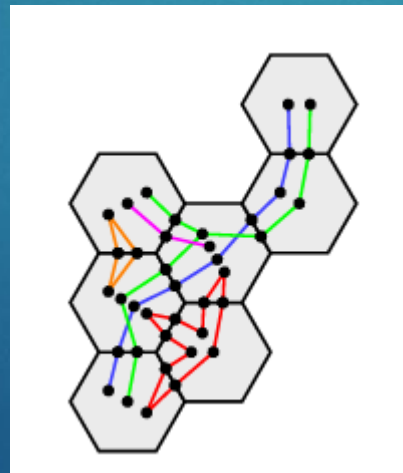


Áramköri kiterjesztés

- ▶ Külső kapcsolatok: Minden amoebot között k db él
- ▶ Csapok egységesek ($k \geq 1$)
- ▶ Csapkészlet felosztása diszjunkt halmazokra
- ▶ Áramkörök alakulnak ki
- ▶ Primitív jelküldés partíciókon



- ▶ Hatszögletű mozaik



PASC algoritmus

- ▶ Láncok -> amoebotok rendezett sorozata (u_i és u_{i+1} szomszédok)
- ▶ Vezetőválasztás
- ▶ Lánc meghatározása
- ▶ Algoritmus célja: azonosítók kiszámítása

Azonosítók lánc mentén - előkészületek

- ▶ Referencia amoebot
- ▶ Minden amoebot aktív vagy passzív
- ▶ Két áramkör létrehozása
- ▶ Elsődleges és másodlagos partíció halmaz
- ▶ Összekötés:
 - ▶ Aktív: elsődleges -> elődje másodlagos
másodlagos -> elődje elsődleges
 - ▶ Passzív: elsődleges -> elődje elsődleges
másodlagos -> elődje másodlagos

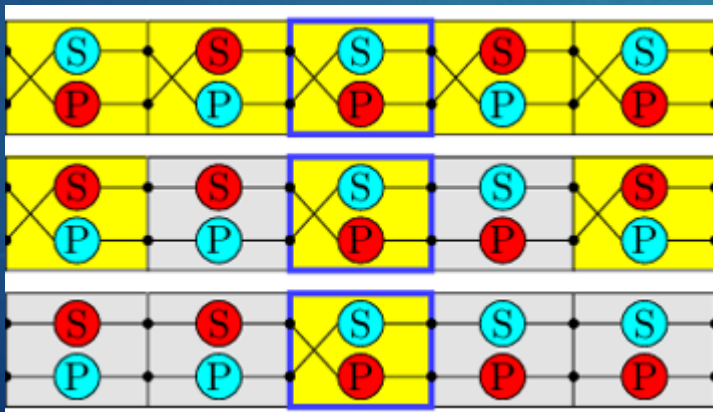
100

-
- Figure 1 shows four horizontal panels, each representing a different value of i (1, 2, 3, 4). Each panel contains a sequence of 8 pairs of nodes, labeled S and P. The nodes are colored red or cyan. The background of the panels is yellow or gray. A blue box highlights a specific pair of nodes in each panel.
- $i = 1$:** The background is yellow. The sequence of pairs is (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P). The 5th pair (S, P) is highlighted with a blue box.
 - $i = 2$:** The background is gray. The sequence of pairs is (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P). The 5th pair (S, P) is highlighted with a blue box.
 - $i = 3$:** The background is gray. The sequence of pairs is (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P). The 5th pair (S, P) is highlighted with a blue box.
 - $i = 4$:** The background is gray. The sequence of pairs is (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P), (S, P). The 5th pair (S, P) is highlighted with a blue box.

Azonosítók lánc mentén - azonosítók

- ▶ Minden körben minden amoebot az egyik áramkörén kap jelzést
- ▶ Elsődleges áramkör: 0
- ▶ Másodlagos áramkör: 1
- ▶ Minden jelzés egy bit, visszafele kell jegyezni: (x_{k-1}, \dots, x_0) , x_i körben 1 vagy 0
- ▶ k az iterációk száma ($0 \leq i < k$)

- ▶ Példa:



0	1	0	1	0
10	11	00	01	10
110	111	000	001	010

Azonosító lánc mentén - bitek

- ▶ Kettes komplement ábrázolás

- ▶ Pozitív és 0

- ▶ 000: 0

- ▶ 001: 1

- ▶ 010: 2

- ▶ Negatív

- ▶ bitek invertálása

0	1	0	1	0
---	---	---	---	---

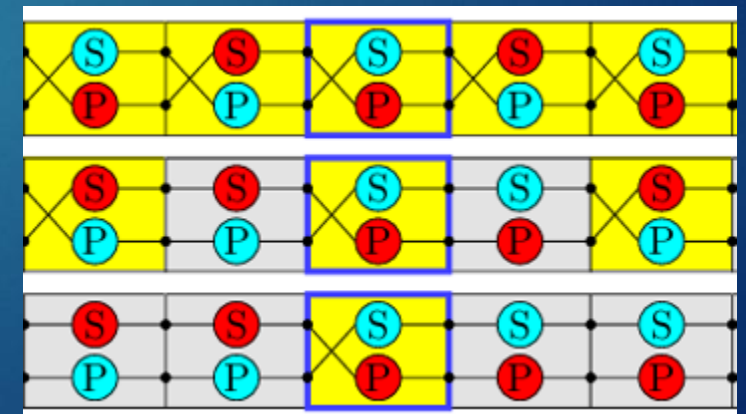
- ▶ 1 hozzáadása

- ▶ 111 -> 000 -> 001: -1

10	11	00	01	10
----	----	----	----	----

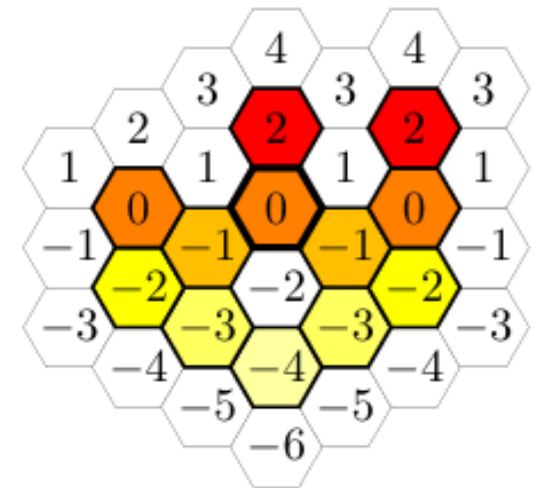
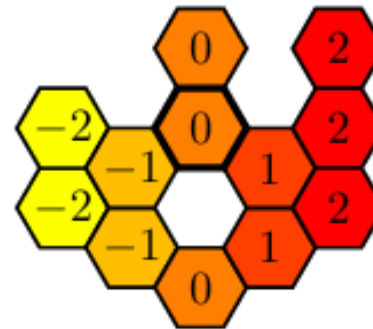
- ▶ 110 -> 001 -> 010: -2

110	111	000	001	010
-----	-----	-----	-----	-----



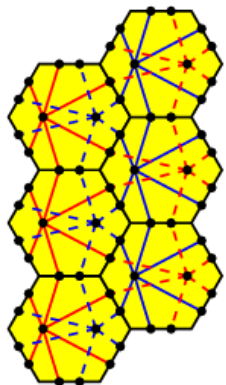
Térbeli azonosítók

- ▶ Adott egy d irány és egy egy 90° -al elforgatott d' irány
- ▶ pl.: $d=E \rightarrow d'=N$
- ▶ Diszjunkt csíkokra partícionálás
- ▶ Minden csík ismeri az elődjét és utódját
- ▶ Csíkok összekötése

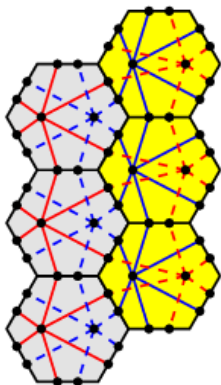


Térbeli azonosítók

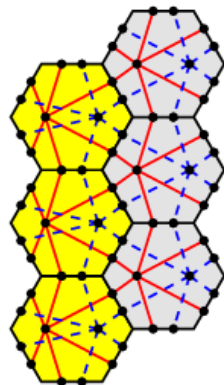
- ▶ Adott egy d irány és egy egy 90° -al elforgatott d' irány
- ▶ pl.: $d=E \rightarrow d'=N$
- ▶ Diszjunkt csíkokra partícionálás
- ▶ Minden csík ismeri az elődjét és utódját
- ▶ Csíkok összekötése
- ▶ PASC algoritmus a csíkok halmazán



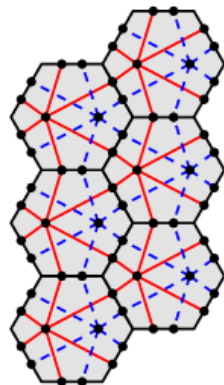
ACTIVE/ACTIVE



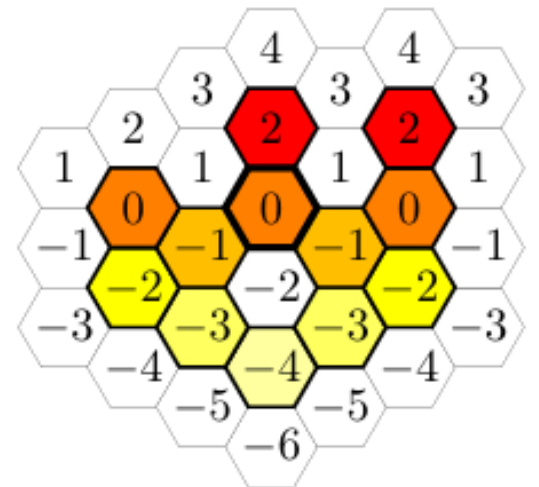
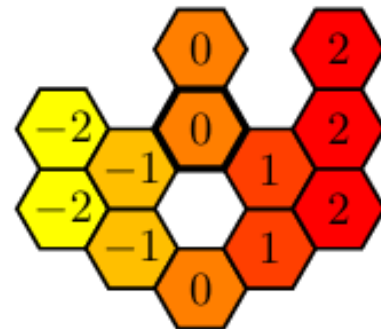
PASSIVE/ACTIVE



ACTIVE/PASSIVE

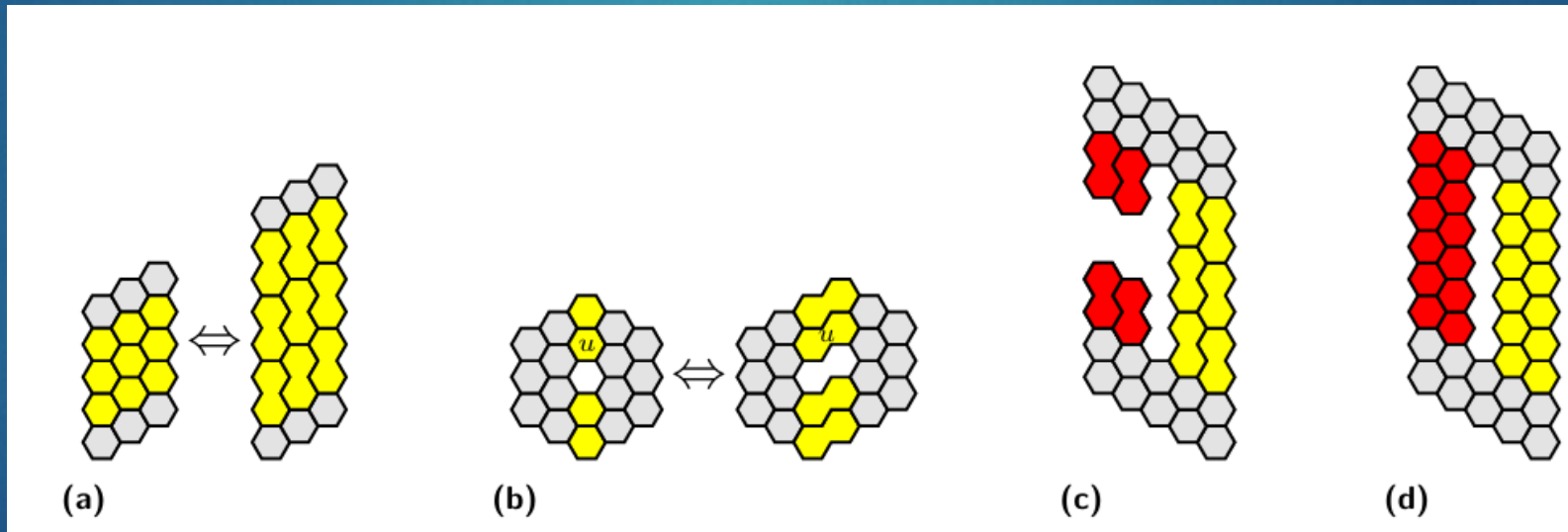


PASSIVE/PASSIVE



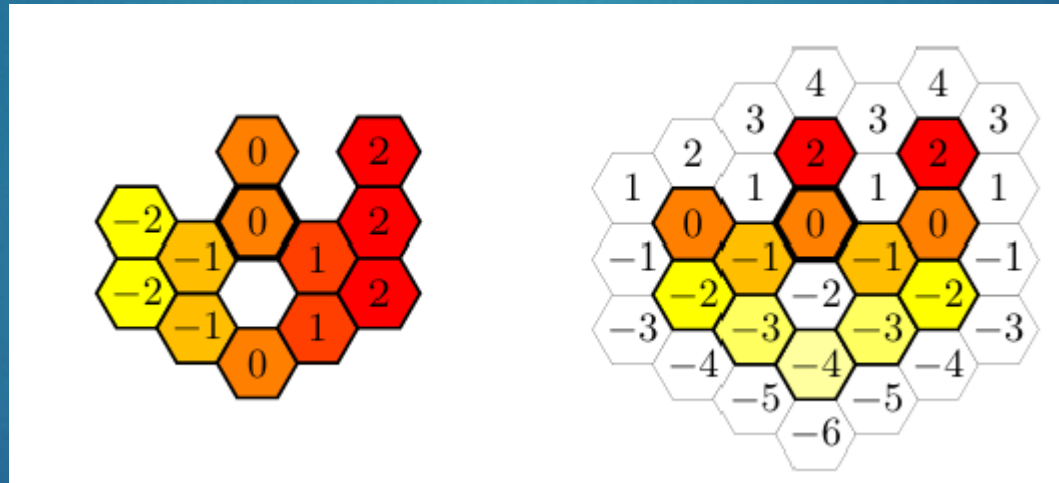
Stripe problem

- ▶ Probléma: Egy adott u amoebot és X tengely
 - ▶ Összes, a tengelyes áthaladó amoebot meghatározása
- ▶ Fontos a konfliktusok elkerüléséhez, gyors alakváltás
- ▶ PASC algoritmus megoldja



Globális maximum probléma

- Probléma: Egy adott amoebot halmaz globális maximumának meghatározása
- PASC algoritmus által kiosztott azonosítók meghatározzák a szélsőértékeket egy tengely mentén



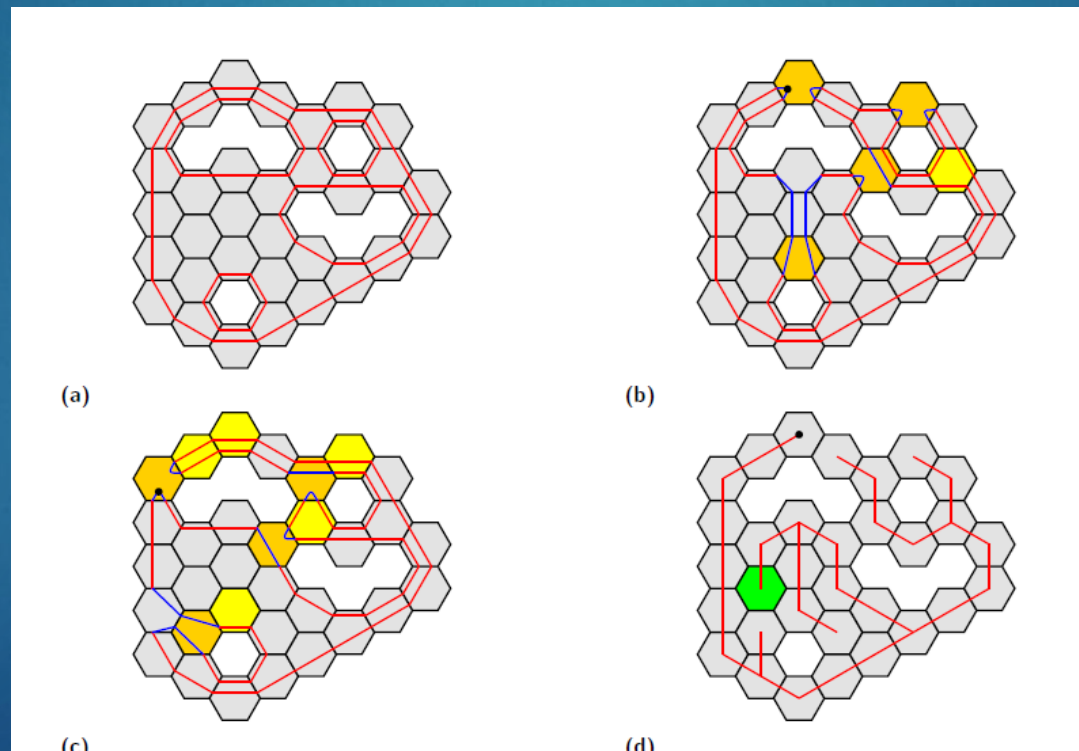
Csontváz-probléma megfogalmazása

- ▶ Egy amőbotokból álló struktúrában meg kell találni egy olyan ciklust, amely az összes **határon lévő amőbotot** tartalmazza
- ▶ Ezt a csontvázat egy algoritmus segítségével kell kialakítani, amely biztosítja, hogy mindig azonos eredményt kapjunk (ún. **kanonikus csontváz**).
- ▶ A cél: egy egyedi, meghatározott módon konstruált csontváz (skeleton) létrehozása.

Kanonikus csontváz megalkotása

- Az algoritmus egy **irányt** és egy **előjelválasztást** használ a csontváz egyedi meghatározására

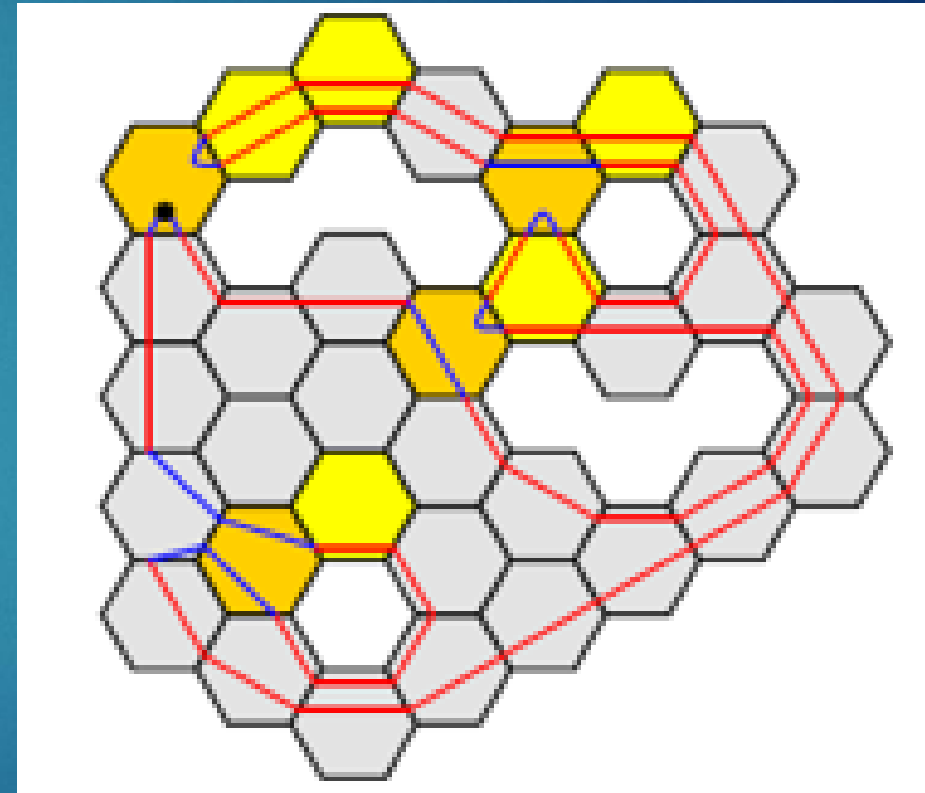
$(N, +)-$



$(NNW, +)$

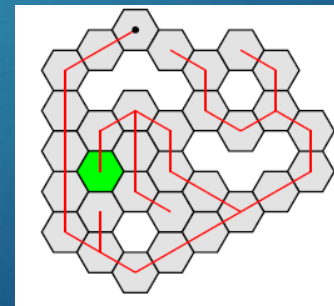
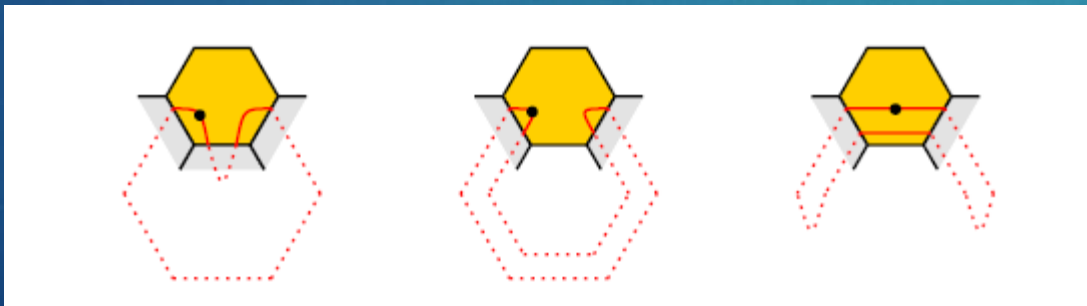
Csontváz létrehozásának lépései

- ▶ **Globális maximum keresés:** A szerkezetben a legmagasabban lévő határ-amőbot kiválasztása.
- ▶ **Csontváz kiindulási pontjának meghatározása.**
- ▶ **Kapcsolódó amőbotok és határok összekötése** az egyedi útvonal létrehozásához.



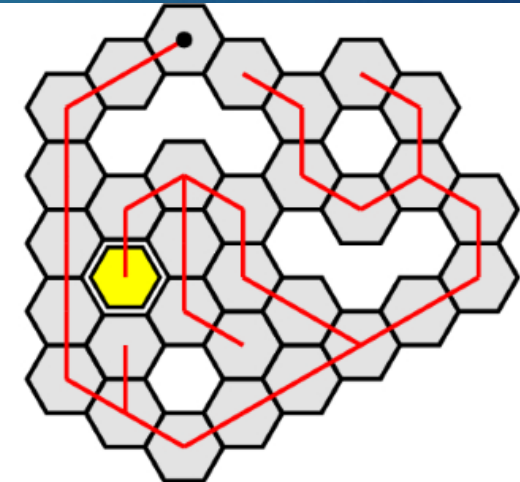
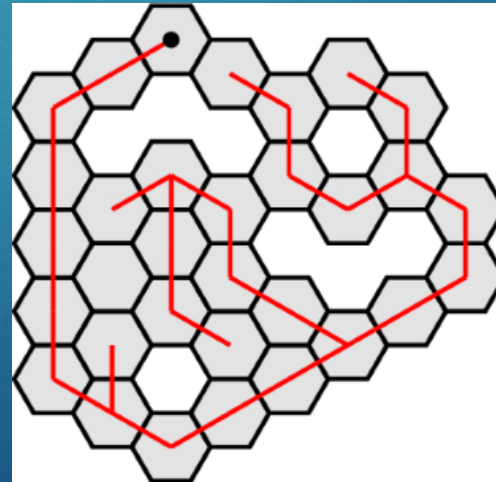
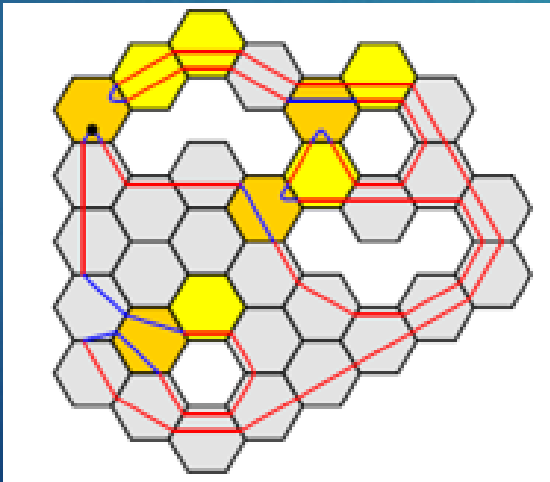
Csontváz és kapcsolódó határok

- ▶ A határ-amőbotokat tartalmazó **kisebb körökből** indulunk ki.
- ▶ Ezeket egyesítjük egy **egyetlen csontvázzá** egy jól meghatározott útvonal segítségével.
- ▶ A csontváz mentén található amőbotok egy **fa** struktúrát alkotnak, amely további algoritmusokhoz használható.
- ▶ A csontváz nem törik meg és **minden határ-amőbotot tartalmaz**.



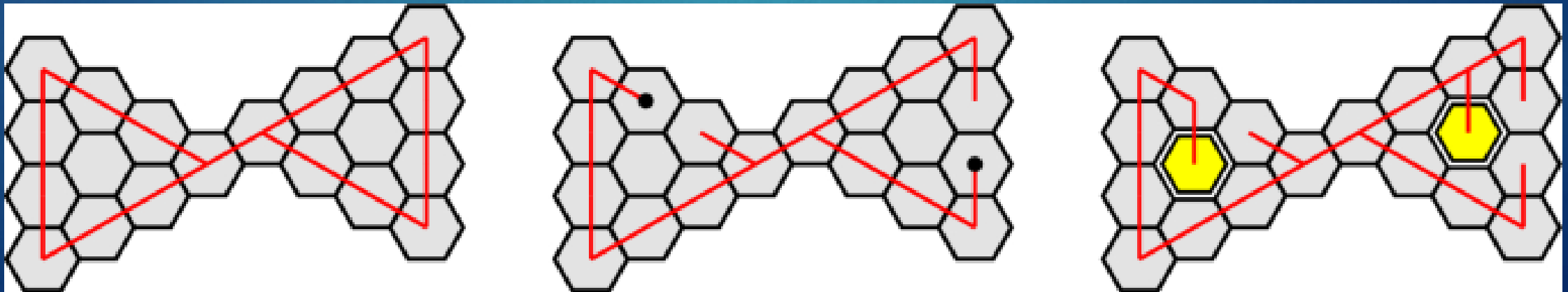
Spanning tree létrehozása

- ▶ A csontvázból először létrehozunk egy fát
 - ▶ Csontváz út $\pi = (v_1, \dots, v_m) \rightarrow 1$ csúcs többször előfordulhat
 - ▶ PASC algoritmus-al minden csúcs első előfordulását meghatározzuk
 - ▶ Minden amőbot első előfordulásakor jelez az elődjének ezzel a fát létrehozva
- ▶ Hogy spanning tree-t kapjunk, hozzáadjuk a belső node-okat a fához
 - ▶ minden belső node-hoz hozzáadunk egy élt az északi szomszédjától
- ▶ $O(\log n)$ futási idő



Spanning tree csontváz nélkül

- ▶ Ha az amőbotokból álló struktúra nem tartalmaz lyukat, a spanning tree csontváz út nélkül létrehozható
 - ▶ Minden szomszédos határ-amőbot pár közé felveszünk egy élt
 - ▶ Minden ezzel létrejött ciklusban választunk egy vezetőt, aminek eltávolítjuk az egyik élét ezzel megszüntetve a ciklust
- ▶ Hogy spanning tree-t kapjunk, hozzáadjuk a belső node-okat a fához
- ▶ $O(\log n)$ futási idő

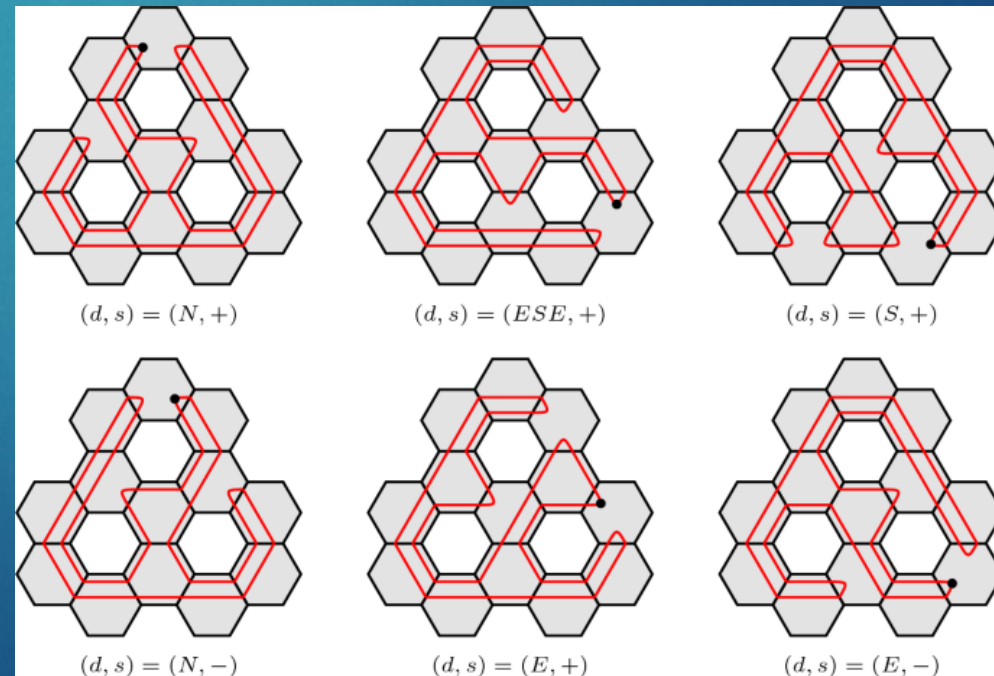
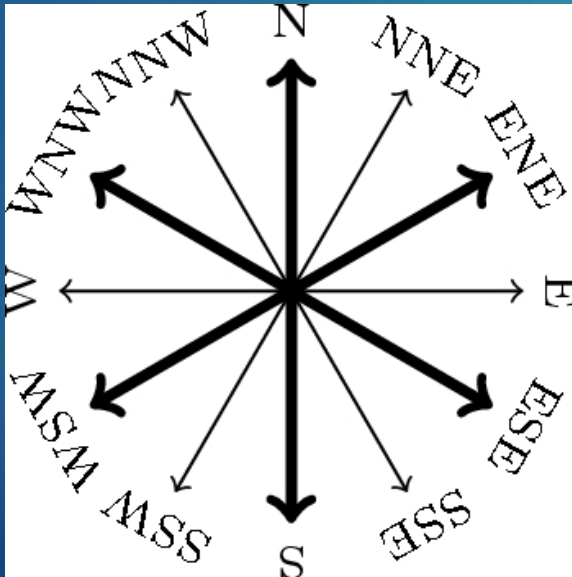


Szimmetria detektálás

- ▶ Egy amőbotokból álló struktúra szimmetriái a különböző irányú és előjelű kanonikus csontvázainak összehasonlításával detektálható
 - ▶ minden (d, s) kanonikus csontvázat egy egyedi bit sorozattá alakítunk
 - ▶ bitek összehasonlítása csontvázak helyett → polilogaritmikus futási idő: $O(\log^5 n)$
- ▶ 2 fajta szimmetria értelmezhető
 - ▶ lehet valamelyik tengelye mentén szimmetrikus
 - ▶ lehet forgásszimmetrikus (2-fold, 3-fold, 6-fold)

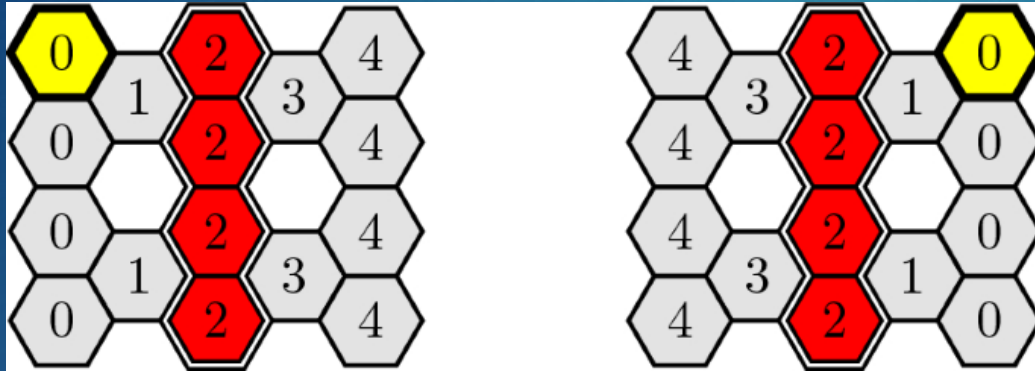
Szimmetria detektálás

- ▶ Északi irányú tengelyre szimmetrikus, ha az $(N, +)$ és $(N, -)$ csontvázak szimmetrikusak
- ▶ Keleti irányú tengelyre szimmetrikus, ha az $(E, +)$ és $(E, -)$ csontvázak szimmetrikusak
- ▶ 2-fold szimmetrikus (180°), ha az $(N, +)$ és $(S, +)$ csontvázak szimmetrikusak
- ▶ 3-fold szimmetrikus (120°), ha az $(N, +)$ és $(ESE, +)$ csontvázak szimmetrikusak
- ▶ 6-fold szimmetrikus (60°), ha 2 és 3-fold szimmetrikus

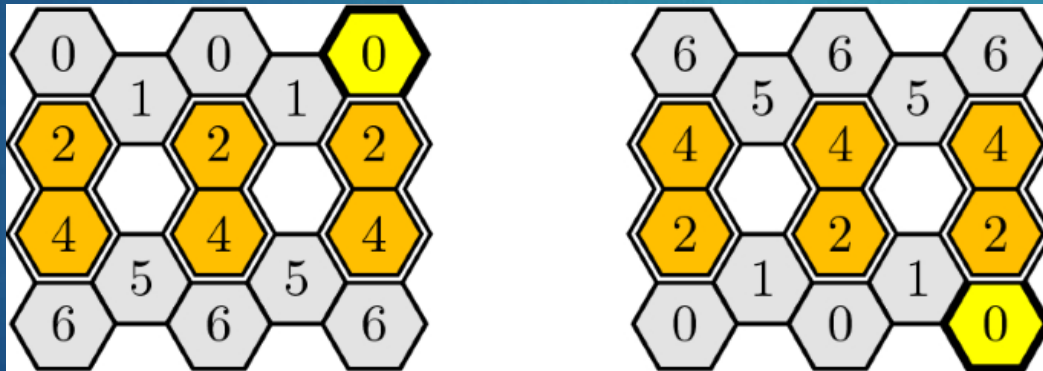


Szimmetria detektálás

- ▶ Északi irányú tengelyre szimmetria példa

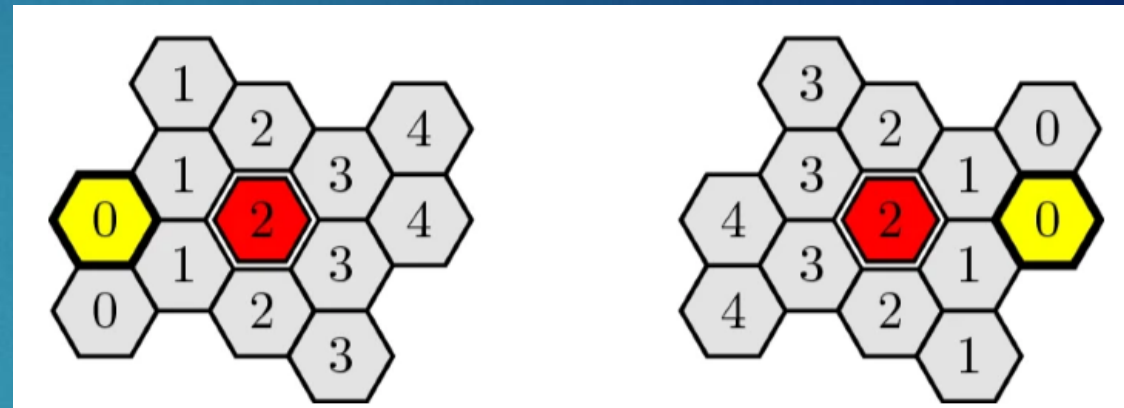
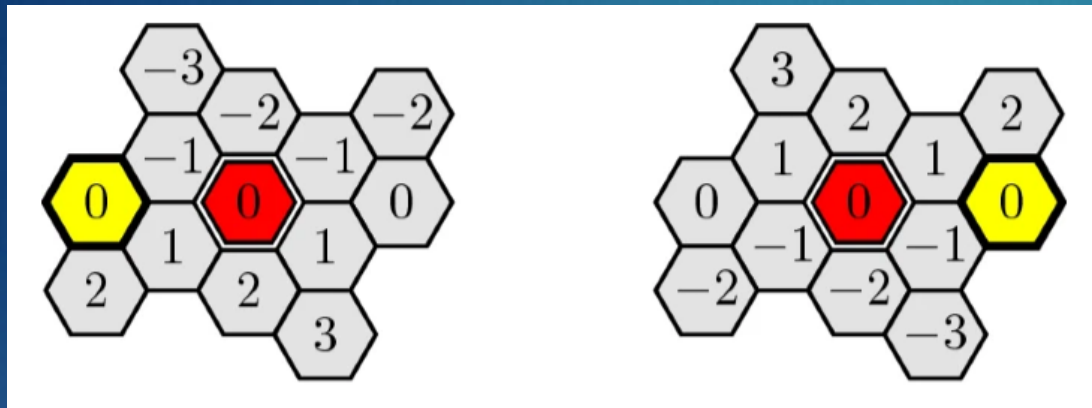


- ▶ Keleti irányú tengelyre szimmetria példa

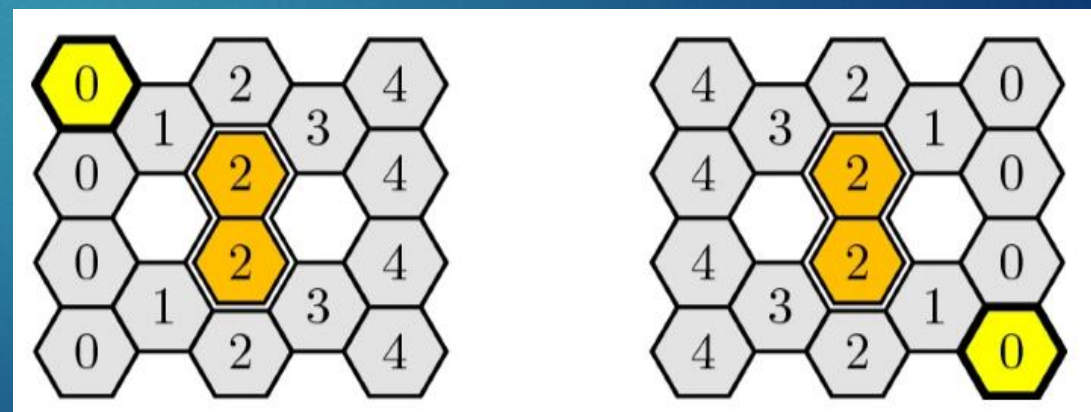
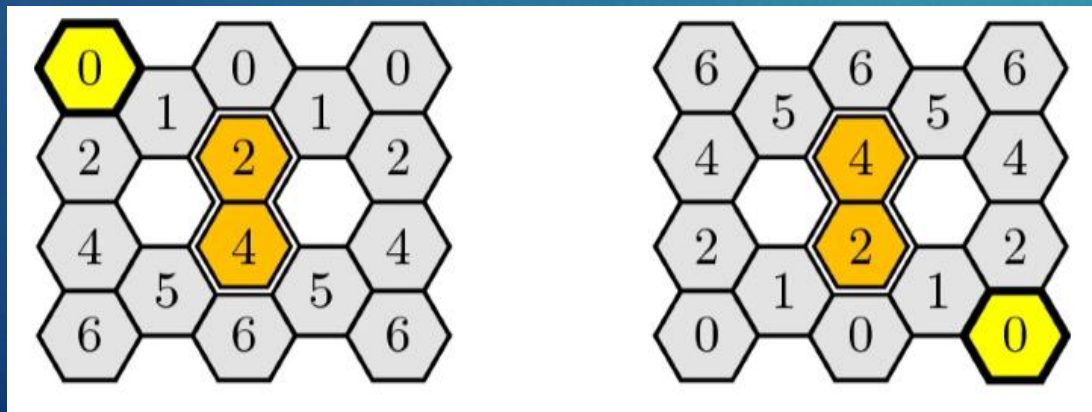


Szimmetria detektálás

- ▶ 2-fold szimmetria egy belső node-ra

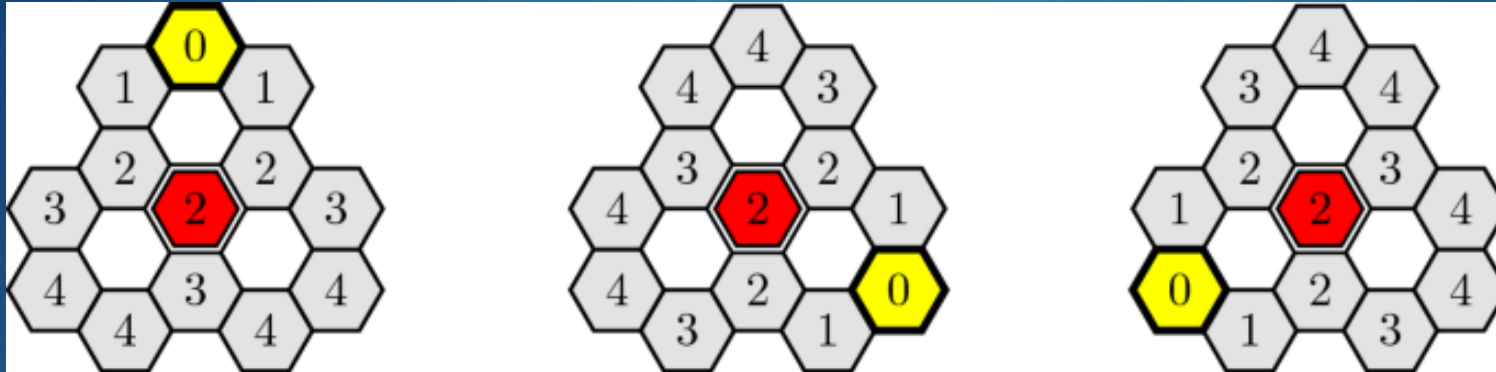


- ▶ 2-fold szimmetria 2 belső node közti élre



Szimmetria detektálás

- ▶ 3-fold szimmetria egy belső node-ra



- ▶ 3-fold szimmetria 3 belső node közötti pontra





Köszönjük a figyelmet!