

Kombinatorikus játékok, Grundy-számozás

ALGORITMIKUS JÁTÉKELMÉLET

1. gyakorlat

2025.

Kombinatorikus játék. A (G, N_W, N_T, N_L, v_0) ötöst (véges) kombinatorikus játéknak nevezzük, ha $G = (V, E)$ egy véges, irányított, aciklikus gráf, N_W, N_T, N_L a G nyelőinek egy partíciója, és $v_0 \in V$.

A kombinatorikus játékok kétszemélyes játékok, ahol a játékosok teljes információval rendelkeznek és felváltva lépnek G irányított élei mentén egyet-egyet. A kezdőállás a v_0 csúcs, és a játék akkor ér véget, ha valamelyik játékos belép egy nyelőbe. Ha ez a nyelő N_W -beli, akkor az utolsónak lépő játékos nyert (és a másik játékos veszített), ha a nyelő N_T -beli, akkor a játék eredménye döntetlen, ha pedig a nyelő N_L -beli, akkor az utolsónak lépő játékos veszít (a másik játékos pedig nyer).

Éles és betli játék. Egy (G, N_W, N_T, N_L, v_0) kombinatorikus játékot éles játéknak nevezzük, ha $N_T = N_L = \emptyset$. A játékot betli játéknak nevezzük, ha $N_W = N_T = \emptyset$.

Állások típusa. Egy olyan állást, melyből a soron következő játékos tud nyerni, I-es típusúnak nevezzük. Egy olyan állást, melyből a soron következő játékos nem tudja garantálni a győzelmet, de tud döntetlent játszani, *-típusúnak nevezzük. Egy olyan állást, melyből a soron következő játékos se győzelmet, se döntetlent nem tud garantálni, II-es típusúnak nevezzük.

Kombinatorikus játék típusa. A (G, N_W, N_T, N_L, v_0) kombinatorikus játék típusán a v_0 csúcsnak megfelelő állás típusát értjük.

Mag. A $G = (V, E)$ gráf egy $S \subseteq V$ független ponthalmazát magnak nevezzük, ha minden $(V \setminus S)$ -beli csúcsnak van S -beli szomszédja.

Kombinatorikus játékok összege. A J és J' kombinatorikus játék összegén azt a $J + J'$ kombinatorikus játékot értjük, melyben a két játékos párhuzamosan játssza a J és J' játékokat úgy, hogy a soron következő játékos a J és J' játékok közül pontosan az egyikben lép egyet, és a $J + J'$ végeredménye az utoljára befejezett játék eredménye lesz.

Grundy-számozás. Egy $G = (V, E)$ gráffal rendelkező éles kombinatorikus játék Grundy-számozása egy olyan $g: V \rightarrow \mathbb{N}$ függvény, melyre tetszőleges $v \in V$ esetén $g(v) = \text{mex}\{g(w) \mid vw \in E\}$, ahol egy nemnegatív számokból álló halmaz mex (minimum excludant) értékén azt a legkisebb nemnegatív egész számot értjük, ami nincs benne a halmazban.

Tétel. Minden éles kombinatorikus játéknak létezik egyértelmű Grundy-számozása.

Nim-összeg. Az $a, b \in \mathbb{N}$ számok nim-összegét úgy kapjuk meg, hogy mindkét számot felírjuk kettes számrendszerben és az azonos helyiértéken szereplő számjegyeiket modulo 2 összeadjuk. Jele: $a \oplus b$.

Kupacos játék. Adott egy $n \in \mathbb{N}$ kavicsból álló kupac és egy $S \subseteq \mathbb{N}_+$ nemüres, véges halmaz. A soron következő játékos választ egy $s \in S$ számot és elvesz s kavicsot a kupacból.

A k -nim játék. Adott $k \in \mathbb{N}_+$ kupac kavics, ahol a kupacok méretei $n_1, \dots, n_k \in \mathbb{N}_+$. A soron következő játékos választ egy kupacot és abból elvesz bármennyi, de legalább egy darab kavicsot.

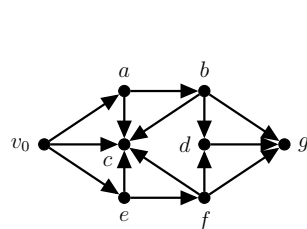
Kombinatorikus játékok, Grundy-számozás

ALGORITMIKUS JÁTEKELMÉLET

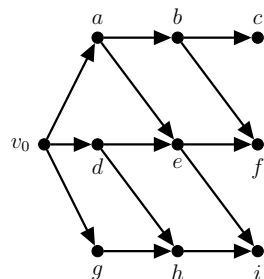
1. gyakorlat

2025.

1. Határozzuk meg a tanult algoritmussal minden állás típusát az alábbi kombinatorikus játékokban. (A második esetben általánosítsuk az algoritmust az N_T -beli csúcsok kezelésére.)

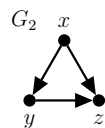
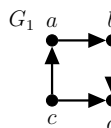


$$N_W = \{c\}, N_T = \emptyset, N_L = \{g\}$$



$$N_W = \{c\}, N_T = \{f\}, N_L = \{i\}$$

2. (a) Határozzuk meg az 1. feladatban szereplő gráfok által leírt éles játékok Grundy-számozását (tehát most az 1. feladattól eltérően minden nyelő N_W -beli).
(b) Határozzuk meg az alábbi két gráf által leírt (tetszőleges kezdőállású) éles játékok összegének a Grundy-számozását.
(c) Mely kezdőállásokra lesz az alábbi két gráf által leírt éles játékok összege II-es típusú?

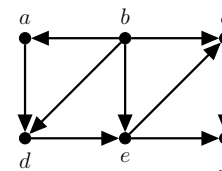


3. Adott két kupac zseton, ahol a kupacok mérete $n, m \in \mathbb{N}_+$. A soron következő játékos valamelyik kupacot kidobja, és a másik kupacot két nemüres kisebb kupacra osztja fel. Az veszít, aki nem tud lépni. Határozzuk meg, hogy mikor van a kezdőjátékosnak nyerő stratégiája.
4. (a) Határozzuk meg a kupacos játékban az állások típusát $S = \{2, 4, 7\}$ esetén.
(b) Bizonyítsuk be, hogy tetszőleges véges S esetén a II-es típusú állások halmaza egy idő után periodikus.
5. A mérgezett csoki (chomp) játék a következő: adott egy $(n \times m)$ -es tábla csoki (ahol $n, m \in \mathbb{N}_+$), melynek a bal alsó kockája mérgezett. A soron következő játékos kiválaszthatja a maradék csokidarab egy kockáját, és leharapja azt, valamint az összes tőle jobbra és felfele levő kockát. Az veszít, aki megeszi a mérgezett kocka csokit.

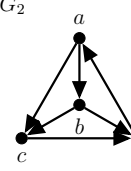
Mutassuk meg, hogy tetszőleges $n \in \mathbb{N}_+$ esetén a szimmetrikus, $(n \times n)$ -méretű chomp játékban a kezdőjátékosnak van nyerő stratégiája.

6. Adjunk optimális stratégiát (mindkét játékosra) a kupacos játéknak arra a változatára, melyben $S = \{1, 2, \dots, 10\}$ és a győztes játékos annyi pénzt nyer el a másik játékostól, ahány kavicsot ő összesen elvett a játék során.
7. Keressünk az alábbi gráfokban magot, vagy ha nincs bennük, akkor bizonyítsuk ezt be.

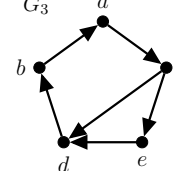
G_1



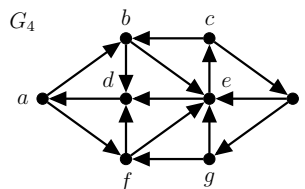
G_2



G_3



G_4



8. Bizonyítsuk be, hogy ha G egy páratlan hosszú irányított kör, akkor nincs magja.
9. Legyen G egy olyan irányított gráf, melyet egy irányítatlan gráfból kaptunk úgy, hogy annak minden élét helyettesítettük egy oda-vissza irányított élpárral. Van-e bizonyosan G -ben mag? Ha van, akkor tudunk-e polinomidőben találni egyet?
10. Adjunk algoritmust az optimális stratégia meghatározására olyan általánosított kombinatorikus játékokra, melyekben győzelem, döntetlen és vereség helyett minden nyelő csúcsban egy $-k$ és k közötti egész szám van megadva (ami lehet $\pm k$ is), mely azt írja le, hogy az odalépő játékos mennyi pénzt nyer el a másik játékostól.
11. Bizonyítsuk be, hogy ha egy G irányított gráfban nincs páros hosszú irányított kör, akkor G -nek legfeljebb egy magja van.
12. (a) Legyen G egy olyan irányított gráf, mely irányítatlan értelemben egy páros gráf. Mutassuk meg, hogy G -nek van magja.
(b) Mutassuk meg, hogy ha az erősen összefüggő G gráfban nincs páratlan hosszú irányított kör, akkor G irányítatlan értelemben egy páros gráf.
(c) Bizonyítsuk be Richardson tételét: ha egy G irányított gráfban nincs páratlan hosszú irányított kör, akkor G -nek van magja.