

Простые, но важные инструменты теории игр

Б. А. Золотов, Олимпиада «Математика НОН-СТОП»

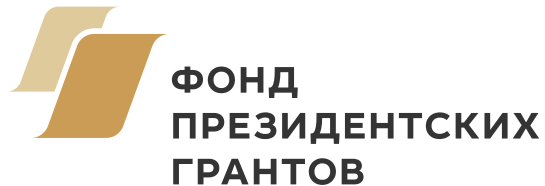
Фонд «Время Науки»

1 марта 2021 г.

К чему фотографировать презентацию,
когда можно её скачать

Слайды доступны по ссылке: <http://bit.ly/spbtym-game-theory>

В 2020–2021 гг. олимпиада «Математика НОН-СТОП» проводится с использованием гранта Президента Российской Федерации на развитие гражданского общества, предоставленного Фондом президентских грантов.



Они же — игры с полной информацией.

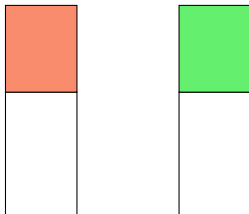
- Множество позиций
- Игроки делают ходы по очереди
- Игрокам известны все возможные ходы из каждой позиции
- На некоторых позициях определяется исход игры, например — «проигрывает тот, кто не может сделать ход».

Самая базовая игра

Есть две кучи по 100 монеток. Можно вынуть сколько угодно монеток из одной кучи.

Самая базовая игра

Есть две кучи по 100 монеток. Можно вынуть сколько угодно монеток из одной кучи.



Сколько бы первый ни вынул, второй берёт столько же из другой кучи.

Кто выигрывает при правильной игре?

Правильная игра — никто из игроков не знает, какой ход его соперник сделает следующим.

Нет ни игры «в поддавки», ни игры «в худший случай». Нельзя сводить рассмотрение такой игры к рассмотрению одного варианта поведения противника.

Что такое выигрышная стратегия

Это правило, которое описывает ответы данного игрока на *любые* ходы его противника и при *любых* ходах противника приводит к выигрышу.

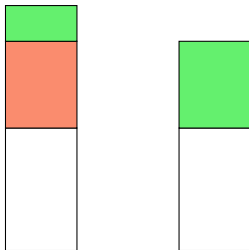
Мы должны уметь отвечать на любой возможный ход — разумеется, по-разному. Во всех разумных играх стратегия существует, причём только у одного игрока.

Несимметричная позиция

Есть две кучи, 100 монеток и 105 монеток. Можно вынуть сколько угодно монеток из одной кучи.

Несимметричная позиция

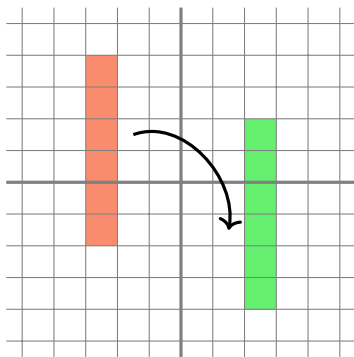
Есть две кучи, 100 монеток и 105 монеток. Можно вынуть сколько угодно монеток из одной кучи.



Двое размещают прямоугольники 6×1 на доске 100×100 .

Симметрия

Двое размещают прямоугольники 6×1 на доске 100×100 .



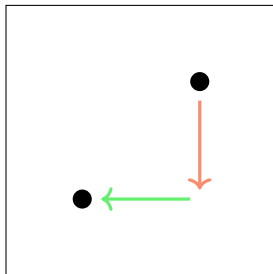
А если квадраты 2×2 ?

Тоже симметрия, но в шахматных фигурах

Двое по очереди ходят ладьёй по шахматному полю, причём ходить можно только вниз или влево.

Тоже симметрия, но в шахматных фигурах

Двое по очереди ходят ладьёй по шахматному полю, причём ходить можно только вниз или влево.



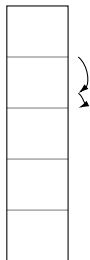
А если доска не квадратная?

Камни из кучи

Дана куча из 40 камней. За ход можно вынуть из неё от 1 до 7 камней.
Проигрывает тот, кто не может сделать ход.

Камни из кучи

Дана куча из 40 камней. За ход можно вынуть из неё от 1 до 7 камней.
Проигрывает тот, кто не может сделать ход.



Выигрывает второй, ему надо *дополнять ходы противника до 8*.

А если в куче 43 камня?

Выигрышные и проигрышные позиции

Это метод решения задач на игры, который работает почти всегда, если у каждой позиции есть простое описание.

Выигрышная позиция — у игрока, начинающего в ней, есть стратегия. Проигрышная — нет стратегии.

Например, «последняя» позиция — проигрышная. Позиции, из которых есть прямой ход в «последнюю», — выигрышные.

Теорема о характеристизации позиций

Выигрышные позиции — такие, из которых есть ход хотя бы в одну проигрышную.

Проигрышные позиции — такие, ходы из которых только в выигрышные.

В соответствии с этим утверждением можно проанализировать все позиции, начиная с конечной. *Рассмотрим игры, которые уже были: две кучи монет, ладья, камни.*

Примеры

В куче n камней, из неё можно вынуть a_1, a_2, \dots, a_k камней.

0 камней — проигрышная позиция, остальные расставим.

Примеры

В куче n камней, из неё можно вынуть a_1, a_2, \dots, a_k камней.

0 камней — проигрышная позиция, остальные расставим.

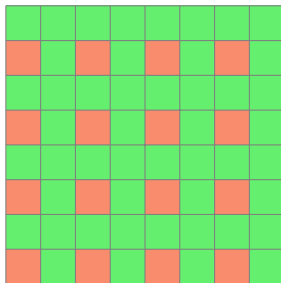
Двое ходят королём по шахматной доске, можно ходить только вниз, влево или вниз-влево.

Примеры

В куче n камней, из неё можно вынуть a_1, a_2, \dots, a_k камней.

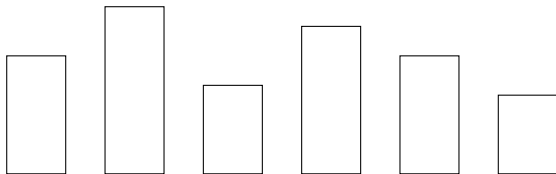
0 камней — проигрышная позиция, остальные расставим.

Двое ходят королём по шахматной доске, можно ходить только вниз, влево или вниз-влево.



Игра Ним

Имеется k кучек, в них N_1, N_2, \dots, N_k камней. Можно вынуть сколько угодно камней, но только из одной кучи.



Ним-сумма

Переведём размеры кучек в двоичную систему и сложим без переноса разрядов.

То же самое, что разложить в сумму степеней двойки и посмотреть, каких из них нечётное число.

| | | | |
|----|------|------|------|
| 2 | 8 | 10 | 11 |
| 10 | 1000 | 1010 | 1011 |

Ним-сумма — 1011:

единиц 1, десятков 3, сотен 0, тысяч 3

Свойства ним-суммы

Коммутативна, ассоциативна, $x \oplus x = 0$.

$$\begin{aligned} S_{\text{after}} &= S_{\text{after}} \oplus 0 = S_{\text{after}} \oplus S_{\text{before}} \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_1 \oplus y_1) \oplus \dots \oplus (x_k \oplus y_k) \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_i \oplus y_i) \oplus S_{\text{before}} \end{aligned}$$

Свойства ним-суммы

Коммутативна, ассоциативна, $x \oplus x = 0$.

$$\begin{aligned} S_{\text{after}} &= S_{\text{after}} \oplus 0 = S_{\text{after}} \oplus S_{\text{before}} \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_1 \oplus y_1) \oplus \dots \oplus (x_k \oplus y_k) \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_i \oplus y_i) \oplus S_{\text{before}} \end{aligned}$$

$y_i = x_i \oplus (x_i \oplus S_{\text{before}})$, тогда $x_i \oplus x_i \oplus S_{\text{before}} \oplus S_{\text{before}} = 0$.

Свойства ним-суммы

Коммутативна, ассоциативна, $x \oplus x = 0$.

$$\begin{aligned} S_{\text{after}} &= S_{\text{after}} \oplus 0 = S_{\text{after}} \oplus S_{\text{before}} \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_1 \oplus y_1) \oplus \dots \oplus (x_k \oplus y_k) \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_i \oplus y_i) \oplus S_{\text{before}} \end{aligned}$$

$y_i = x_i \oplus (x_i \oplus S_{\text{before}})$, тогда $x_i \oplus x_i \oplus S_{\text{before}} \oplus S_{\text{before}} = 0$.

| | | | |
|----|------|------|------|
| 2 | 8 | 10 | 11 |
| 10 | 1000 | 1010 | 1011 |

Ним-сумма — 1011.

Свойства ним-суммы

Коммутативна, ассоциативна, $x \oplus x = 0$.

$$\begin{aligned} S_{\text{after}} &= S_{\text{after}} \oplus 0 = S_{\text{after}} \oplus S_{\text{before}} \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_1 \oplus y_1) \oplus \dots \oplus (x_k \oplus y_k) \oplus S_{\text{before}} = \\ &= (x_i \oplus y_i) \oplus S_{\text{before}} \end{aligned}$$

$y_i = x_i \oplus (x_i \oplus S_{\text{before}})$, тогда $x_i \oplus x_i \oplus S_{\text{before}} \oplus S_{\text{before}} = 0$.

| | | | |
|----|------|------|------|
| 2 | 8 | 10 | 11 |
| 10 | 1000 | 1010 | 1011 |

Ним-сумма — 1011.

| | | | |
|------|----|---|---|
| 1001 | 11 | 1 | 0 |
|------|----|---|---|

Позиции в игре Ним

- Из любой позиции с ненулевой ним-суммой можно походить в позицию с нулевой.
- При ходе из любой позиции с нулевой ним-суммой она становится ненулевой.
- Значит, позиции с нулевой ним-суммой — проигрышные, с ненулевой — выигрышные.

Ним и другие игры

Ним с двумя кучами: *проигрышные* позиции — когда кучи одинаковы.
Уже было сегодня.

Ним и другие игры

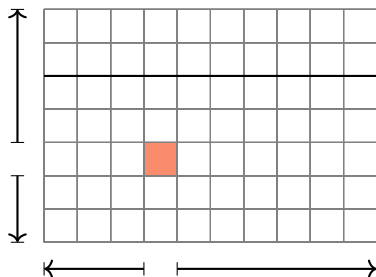
Ним с двумя кучами: *проигрышные* позиции — когда кучи одинаковы. Уже было сегодня.

Шоколадка, одна долька отравлена. Игроки по очереди отламывают и съедают неотравленную часть.

Ним и другие игры

Ним с двумя кучами: *проигрышные* позиции — когда кучи одинаковы.
Уже было сегодня.

Шоколадка, одна долька отравлена. Игроки по очереди отламывают и
съедают неотравленную часть.



Некооперативные игры

| | Split | Steal |
|-------|-----------|----------|
| Split | 5 5 | 10 0 |
| Steal | 0 10 | 0 0 |

| | Cooperate | Defect |
|-------|-----------|----------|
| Coop. | 3 3 | 7 0 |
| Def. | 0 7 | 1 1 |

Некооперативные игры

| | Whale | Fish |
|-------|--------|--------|
| Whale | 2 2 | 1 0 |
| Fish | 0 1 | 1 1 |

| | Swerve | Straight |
|------|----------|----------------|
| Swe. | 0 0 | +1 -1 |
| Str. | -1 +1 | -1000 -1000 |

Некооперативные игры

| | Bach | Stravinsky |
|------|--------|------------|
| Bch. | 1 2 | 0 0 |
| Str. | 0 0 | 2 1 |

| | Head | Tail |
|-----|----------|----------|
| Hd. | -1 +1 | +1 -1 |
| Tl. | +1 -1 | -1 +1 |

Эффективность по Парето

Нельзя увеличить чей-либо выигрыш без уменьшения выигрыша других.

Соответствует интуитивному представлению о максимальном выигрыше.

Эффективность по Парето

Нельзя увеличить чей-либо выигрыш без уменьшения выигрыша других.

Соответствует интуитивному представлению о максимальном выигрыше.

| | Cooperate | Defect |
|-------|-----------|--------|
| Coop. | 3 3 | 7 0 |
| Def. | 0 7 | 1 1 |

Равновесие Нэша

Действие каждого игрока — наилучшее возможное при известных стратегиях других игроков.

Ни один участник не может увеличить свой выигрыш, если стратегии других игроков неизменны.

Равновесие Нэша

Действие каждого игрока — наилучшее возможное при известных стратегиях других игроков.

Ни один участник не может увеличить свой выигрыш, если стратегии других игроков неизменны.

| | Cooperate | Defect |
|-------|-----------|--------|
| Coop. | 3 3 | 7 0 |
| Def. | 0 7 | 1 1 |

Существование равновесия Нэша

| | Head | Tail |
|-----|--------------|--------------|
| Hd. | -1 $+1$ | $+1$ -1 |
| Tl. | $+1$ -1 | -1 $+1$ |

Существование равновесия Нэша

| | Head | Tail |
|-----|--------------|--------------|
| Hd. | -1 $+1$ | $+1$ -1 |
| Tl. | $+1$ -1 | -1 $+1$ |

Иногда равновесия Нэша не существует в чистых стратегиях.
Но оно всегда есть в *смешанных стратегиях*.

В. В кучке N камней. За ход из неё можно вынуть

1, 2, 3, ..., 6, 8, ..., 11, 12, 14 камней.

(То есть любое число от 1 до 14, кроме 7 и 13.) По-прежнему играют двое, и проигрывает тот, кто не может сделать ход. Кто выиграет при правильной игре (в зависимости от N)?

`mathnonstop@timeforscience.ru`

Что мы обсудили сегодня

- (1) Что такое «правильная игра» и выигрышная стратегия
- (2) Игры с симметрией
- (3) Дополнение по модулю: от 1 до k камней из кучи
- (4) Как решить любую задачу на игры: В и П позиции
- (5) Ним и ним-сумма
- (6) Игры — социальные дилеммы

Спасибо за внимание!

(*) rs.mathnonstop.ru