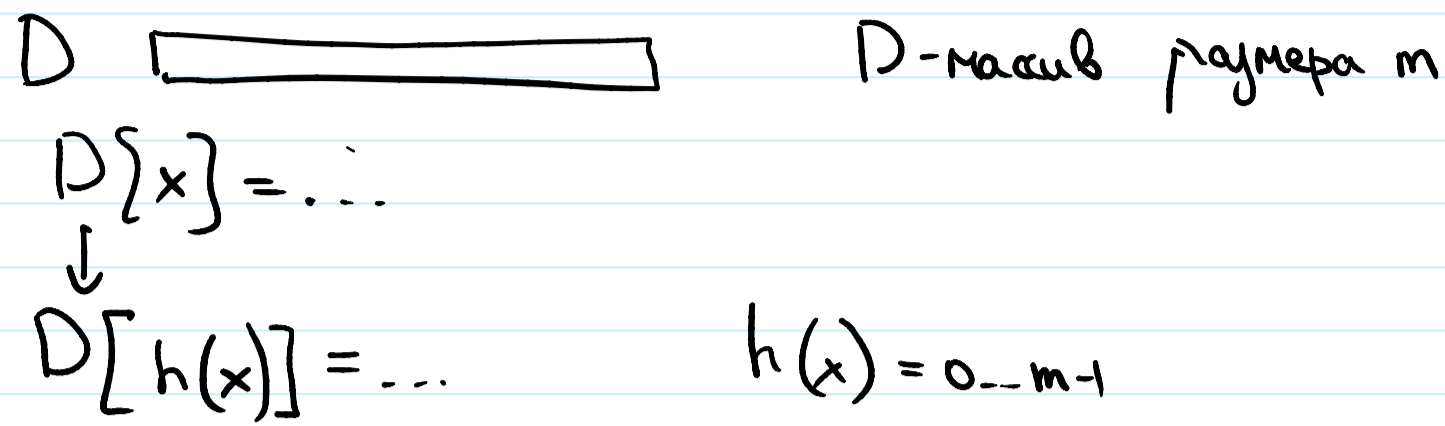


$h(x) \rightarrow y$ - число от 0..m-1
 хеш-ф. объект

Python: set (неупор.) МН-во
 dict словарь, ассоц. массив
 C++: unordered_set
 unordered_map

set: $x \in S?$
 $S.add(x)$ $S.del(x)$
 dict: $x \in D?$
 $D[x]$ - значение
 $D[x] = a$

Если $\exists x \in \mathbb{Z}, x = 0..m-1$:



$m \sim 10^8 \rightarrow$ коллизий (порту) нет
 Массив такого размера не забудём
 $m \sim 10^6$ (вообще говоря, $m \geq c \cdot n$, c - конст.)
 $n \sim \# \text{эл-ов}$
 \downarrow
 коллизии будут!

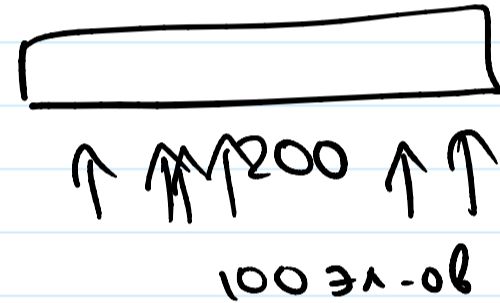
① Хеш-таблица с закрытой адресацией

Реализ. МН-во:

$S = [[] \text{ for } i \text{ in range } (m)]$ $h(x) = 0..M-1$ M - большое число, массив, $\sim 10^8$

add(x): $k = h(x) \% m$
 $S[k].append(x)$
 find(x): $\# x \text{ in } S?$
 $k = h(x) \% m$
 return x in $S[k]$ \leftarrow работает за $O(\text{len}(S[k])) \sim O(\frac{1}{c}) = O(1)$

Пусть $h(x)$ вообр. р/м случ. число от 0..m-1.
 В среднем будет $\sim n/m$ элементов в ячейке!
 $\sim \frac{1}{c}$

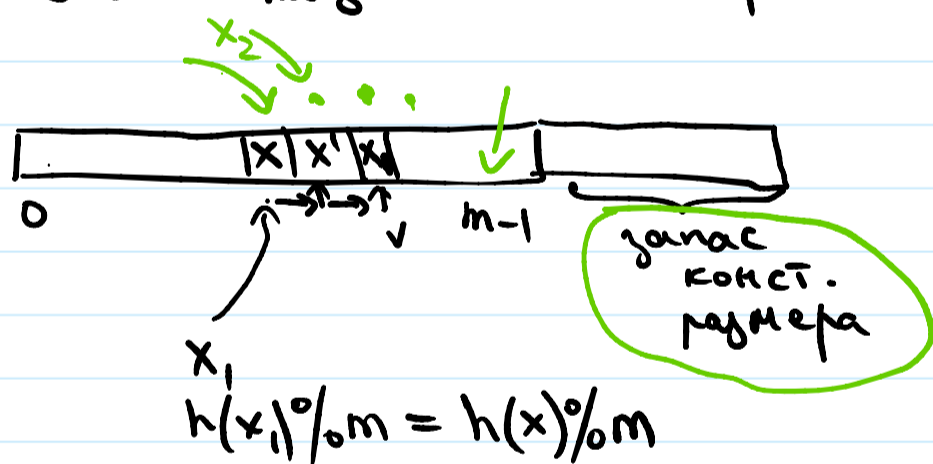


del(x): $k = h(x) \% m$
 $S[k].remove(x)$ \leftarrow сколько работает $h(x)?$
 \leftarrow работает за $O(\frac{1}{c}) = O(1)$

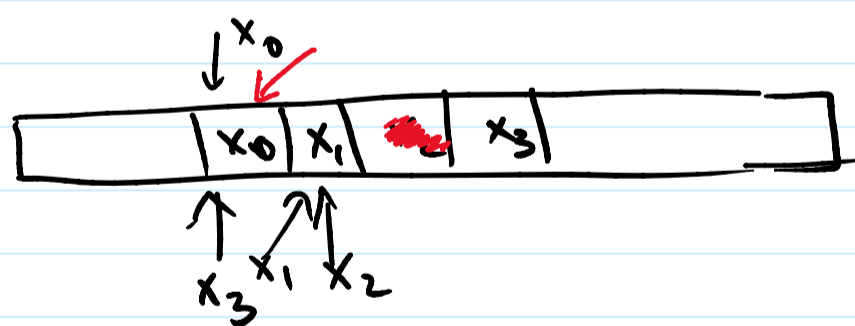
Слишком много эл-ов ($m < n \cdot c$) \Rightarrow перестраиваем всю таблицу с $m' = 2 \cdot m$.

② Хеш-таблица с открытой адресацией (не мультимножество)

$S = [None] \times (m + \text{запас})$



add(x): $k = h(x) \% m$
 while $S[k]$ is not None and $S[k] \neq x$:
 $k++$
 $S[k] = x$; $deleted[k] = False$
 УТВ.: $O(1)$ $c \geq 1$



find(x): $k = h(x) \% m$
 while $S[k]$ is not None and $S[k] \neq x$:
 $k++$
 return $S[k] == x$ and $not\ deleted[k]$
 УТВ.: $O(1)$ $c \geq 1$

del(x)
 find(x)

del(x): - просто не ложится

$c = \frac{m}{n} \geq 1$ $m \geq 2n$

$c = 1 \Rightarrow m = n \Rightarrow$ в са табл. занята \Rightarrow никогда не найдём место для нов. эл-та

Убедитесь не выйти за границы массива, нужно (или):

- запас небольшого конст. размера (от n)

$k++ \rightarrow k = (k+1) \% m$
 $\begin{cases} k++ \\ \text{if } k == m: k = 0 \end{cases}$

Dict $\rightarrow S[k] = (x, y)$

assign(x, True) - добавили
 assign(x, False) - удалили

del(x): $k = h(x) \% m$
 while $S[k]$ is not None and $S[k] \neq x$:
 $k++$
 if $S[k] == x$:
 $deleted[k] = True$