Лекция 11

Подготовил Савичев Игорь, КБ-301

30.11.15

Теория алгоритмов 2015

Повторение

В прошлый раз мы остановились на полиномиальной иерархии. И успели ввести одно определение.

Определение

$(\Pi)\sum^k p = \{L : \exists$ *ДМТ* M $w \in L \Leftrightarrow \exists c_1 \forall c_2 \exists c_2 \forall c_3 ... Qc_k :$ $M(w, c_1, c_2, ..., c_k) = 1 \}$.

Кроме того, мы поняли, что можно ввести функциональный класс.

Определение

$F\sum^k p = \{R : \exists$ *ДМТ* M
$(x, y) \in R \Leftrightarrow \forall c_1 \exists c_2 ... Q_{k-1} : M(x, y, c_1, ..., c_{k-1}) = 1 \}$.

Поговорим немного об этих классах. Очевидно следующее утверждение:

Утверждение

Если $\exists k \sum^k p = \Pi^k p \Rightarrow \sum^{k+1} p = \sum^k p$, *то есть, если эти классы равны, то полиномиальная иерархия коллапсирует и дальше никаких классов нет.*

Доказательство

Без доказательства.

Сформулируем ещё одну задачу.

Задача

$QSAT - k$ - $\exists x_1^1..x_{k_1}^1 \forall x_1^1...x_{k_2}^2 \exists x_1^3...x_{k_3}^3... : F(x_1^1...) = 1.$
Где Q - какой-то квантор.
SAT - Задача выполнимости булевых формул.
k - количество переменных.

Замечание

Из соображений, эквивалетных теореме Кука, мы можем доказать, что эта задача полна в каждом классе, которые мы привели в начале. Соответсвенно,
$\exists SAT - 2$ *полна в* $\sum^2 p$ *и*
$\forall SAT - 2$ *полна в* $\Pi^2 p$.

Введём ещё одно утверждение о коллапсирующей иерархии.

Утверждение

Если $\exists k \sum^k p = \Pi^k p \Rightarrow PH = \sum^k p$,
где $PH = \cup_k \sum^k p \cup \Pi^k p$.

Доказательство

Без доказательства.

Суть этого утверждения в том, что все эти вопросы о равенстве классов P и NP, они в этой иерархии до самого верха, то есть, если $P = NP$ вся иерархия сваливается в P.

На этом мы закончим с полиномиальной иерархией и двинемся дальше.

Новая тема

SPACE-COMPLEXITY

Вторая сложность алгоритмов.

Мы до сих пор интересовались только временной сложностью алгоритмов: сколько тактов проработает данный алгоритм на каком-то входе.
Сейчас же введём вторую сложность алгоритмов - *ёмкостную сложность*
Для этого нам понадобится ввести модифицированную МТ.

Определение

МТ с двумя лентами.
1. read-only - на ней записано условие (входящие данные).
2. обычная.

И вот необходимый размер обычной ленты и есть ёмкостная сложность.
То есть, сколько ячеек будет затрачено на этой обычной ленте.

Соответсвенно, мы можем выделить следующие классы.

Определение

$DSPACE(f)$ - множество алгоритмов с ёмкостной сложностью $O(f(n))$.

Определение

$NSPACE(f)$ - множество алгоритмов с ёмкостной сложностью $O(f(n))$ на НМТ.

И раз у нас появляются *DSPACE* и *NSPACE*, мы хотим ввести классы сложности.
Какие классы нам интересны ?

Определение

$L = DPSACE(log)$ - *класс алгоритмов, которые работают за логарифмическое время.*

Определение

$NL = NSPACE(log)$ - *класс алгоритмов, которые работают за логарифмическое время.*

Определение

$PSPACE = \cup_k DSPACE(n^k)$

Определение

$NPSPACE = \cup_k NSPACE(n^k)$

Теперь мы можем ввести строгое определение ёмкостной сложности.

Определение

Ёмкостная сложность - это точная верхняя граница количества дополнительной памяти необходимой для работы МТ в зависимости от размера входа.

То есть, это какая-то функция, которая на размер входа выдаёт точную верхнюю границу.

Как между собой соотносятся P и $PSPACE$?
Если мы вспомним, что такое P и $PSPACE$, то ответ придёт довольно легко.

Замечание

P - это те алгоритмы, которые работают за полиномиальное время.

Доказательство

Сложно за полиномиальное время "изгадить"больше ячеек памяти, чем полином.
Поэтому очевидно, что $P \subseteq PSACE$.

Также очевидно более сложное условие.

Замечание

$DTIME(f) \subseteq DPSACE(F)$.

Доказательство

Нужно просто понять, что если вы работаете k шагов, то больше чем k ячеек вам не понадобится.

Другой вопрос сложнее: что больше $PSPACE$ или $EXPTIME$?

Замечание

$PSPACE \subseteq EXPTIME$.

Доказательство

У нас есть некоторое ограничение на работу памяти.
Пусть мы берём в нашу МТ слово w, а это значит, что мы можем использовать места не более чем $|w|^k$, где k - некоторое число.
Теперь нужно вспомнить, что такое конфигурация МТ ? Это то:
1. Что записано на ленте (обычной).
2. Состояния, которых конечное число.
3. И две позиции.
А всего таких конфигураций может быть очень много.

Таким образом, если у нас полиномиальное ограничение на размер памяти, то у нас есть экспоненциальное ограничение на время.

Замечание

$DTIME(f) \supseteq DSPACE(log(f))$.

Сейчас мы можем нарисовать грубую иерархию, чуть позднее мы её уточним.

Предположение

$L \subseteq P \subseteq PSPACE \subseteq EXPTIME$.

Где-то здесь потерялись NL, $NPSPACE$ и PH.
Сейчас мы постараемся на все эти вопросы ответить.

Теорема Савича (Savich)

Теорема

PSPACE = NPSPACE

Доказательство

Пусть $\exists$ алгоритм поиска пути в графе G из s в t, занимающий $log^2(G)$ (кол-ва вершин) памяти.
Мы имеем алгоритм $A(s, t, k)$ - $\exists$ путь из s в t из k вершин.
1. if $(k = 0)$ { if $(s = t)$ ret 1; else ret 0;}
2. if $(k = 1)$ { if $(s = t) \in E$ ret 1 else ret 0;}
3. forEach($v \in V$ s, t) if $(A(s, v, [\frac{k}{2}]\&\&A(v, t, [\frac{k}{2}])$ ret 1; else ret 0;
То есть, когда мы ищем путь из s в t, мы пытаемся проверить, что для какой-то вершины в графе есть обе половины пути.
А когда мы найдём эту вершину, то это и будет означать, что существует такой путь.

Итог

Что из этого практически следует ?

Наблюдение

Допустим, что у нас есть какая-то НМТ, память которой ограничена неким числом k.
Число её конфигураций - 2^k.
Весь граф переходов этой НМТ имеет экспоненциальный размер, а как мы помним: Задача о том, остановится ли данная НМТ - это в точности задача поиска пути в пространстве её конфигураций.
А эту задачу мы умеем решать за k^2.

Введём ещё одну полную задачу:

Задача

По w проверить $\exists c_1 \forall c_2 ... Q c_k M(w, c_1, c_2, ..., c_k) = 1$ и $k < P(w)$.

Это выиграшная стратегия в играх, которые не могут расти бесконечно. (например, шашки).