

Наивысшая известная человеку плотность записи информации (Die höchste bekannte Speicherdichte der Information)

Вернер Гитт

Перевод с немецкого: Альфира Вайе

Наивысшей известной человеку плотностью записи информации обладает молекула ДНК в ядре живой клетки. Поперечник этого химического носителя информации составляет всего $d = 2$ нм, а высота хода одного витка этой спиралевидной молекулы равна примерно 3,4 нм (1 нанометр = 1 нм = 10^{-9} м = 10^{-6} мм). Таким образом, объем одного витка равен:

$$V = h \times r^2 \times \pi$$

$$V = 3,4 \cdot 10^{-6} \text{ мм} \times (10^{-6} \text{ мм})^2 \times \pi = 10,68 \cdot 10^{-18} \text{ мм}^3$$

На каждом витке двойной спирали ДНК расположено по 10 нуклеотидов, которые иногда называют еще «химическими буквами наследственного кода». Получается, что на каждый нуклеотид приходится $0,34 \cdot 10^{-9}$ м. Следовательно статистическая плотность информации (ρ), заложенная в ДНК, равняется:

$$\rho = 10 \text{ нуклеотидов («букв») : } (10,68 \cdot 10^{-18} \text{ мм}^3) = 0,94 \cdot 10^{18} \text{ нуклеотидов («букв») в } 1 \text{ мм}^3.$$

В составе молекулы ДНК в неисчислимом множестве комбинаций имеются $n = 4$ нуклеотида, обозначаемые буквами А, С, G, Т. Исходя из того, что эти нуклеотиды встречаются примерно с одинаковой частотой, можно рассчитать статистический объем информации каждого нуклеотида (I_n) в 1 бите по следующей формуле:

$$I_n = \lg n = \lg 4 = 2.$$

Таким образом мы можем также указать плотность информации в молекуле ДНК (ρ^*) в единице измерения, обозначаемой бит/на единицу объема:

$$\begin{aligned} \rho^* &= (0,94 \times 10^{18} \text{ нуклеотидов в } 1 \text{ мм}^3) \times 2 \text{ бита на каждый нуклеотид} = \\ &= 1,88 \times 10^{18} \text{ бита в } 1 \text{ мм}^3 \end{aligned}$$

$$\text{или: } \rho^* = 1,88 \times 10^{21} \text{ бита в } 1 \text{ см}^3$$

Такую плотность информации и её объем представить себе просто невозможно! Но чтобы все-таки как-то подойти, хотя бы приблизительно, к восприятию этих трудно вообразимых чисел, приведу для сравнения 3 примера.

Первый пример: какой объем информации мог бы поместиться в булавочной головке, если бы она состояла из материала молекулы ДНК? Сколько книг карманного формата смогли бы содержать эту информацию?

Обычная книга карманного формата имеет в среднем следующие размеры:

толщина	$t_k = 12 \text{ мм}$
количество страниц	$c_k = 160$
количество букв	$n_6 = 250\,000$

Объём булавочной головки (V_6) диаметром 2 мм ($r = 1 \text{ мм}$) равен:

$$V_6 = \frac{4}{3} \pi r^3 = 4,19 \text{ мм}^3$$

Какое количество «букв» - нуклеотидов (n_n) можно сохранить (поместить) в таком объёме?

$$n_n = V_6 \times \rho = 4,19 \text{ мм}^3 \times (0,94 \cdot 10^{18} \text{ «букв» в } 1 \text{ мм}^3) = 3,94 \cdot 10^{18} \text{ «букв»}$$

Сколько книг (n_k) будут содержать такое количество «букв»?

$$n_k = n_n : n_6 = 3,94 \cdot 10^{18} \text{ «букв»} : 250\,000 \text{ букв (в книге карм. формата)} = 15,76 \cdot 10^{12} \text{ книг}$$

Какой высоты (h) была бы стопка из такого количества книг?

$$h = n_k \times t_k = 15,76 \cdot 10^{12} \text{ книг} \times 12 \text{ мм (толщина книги)} = 189,1 \cdot 10^{12} \text{ мм} = 189,1 \cdot 10^6 \text{ км}$$

Расстояние от Земли до Луны равно $e = 384\,000 \text{ км}$. Во сколько раз (m) высота стопки из этих книг превышала бы это расстояние?

$$m = h : e = 189,1 \cdot 10^6 \text{ км} : 384\,000 \text{ км} = 492,5 \text{ (примерно в } 500 \text{ раз !)}$$

Второй пример: человеческий геном состоит из $n_r 3 \cdot 10^9$ нуклеотидов («букв»). В соматических клетках находится двойной их набор, то есть $6 \cdot 10^9$ «букв».

Длина распрямленной спирали – генома (L_r) составляет:

$$L_r = (0,34 \cdot 10^{-9} \text{ м}) \times 3 \cdot 10^9 = 1,02 \text{ м}$$

Объём человеческого генома (V_r) рассчитываем следующим образом:

$$V_r = n_r : \rho = 3 \cdot 10^9 \text{ нуклеотидов} : (0,94 \cdot 10^{18} \text{ нуклеотидов в } 1 \text{ мм}^3) = 3,19 \cdot 10^{-9} \text{ мм}^3$$

Сколько бы человеческих геномов поместилось в объёме булавочной головки?

$$k = V_6 : V_r = 4,19 \text{ мм}^3 : (3,19 \cdot 10^{-9} \text{ мм}^3) = 1,313 \cdot 10^9 \text{ геномов}$$

Более, чем 1 миллиард людей обладают таким количеством геномов, это 1/6 всего населения Земли. К этому уже освещенному вопросу можно добавить следующий: Каким должен быть объём шара ($V_{ш}$), чтобы в нем поместился генетический материал всего человечества (= 6 миллиардов человек)?

$$V_{ш} = 6 \cdot 10^9 \times V_r = 6 \cdot 10^9 \times 3,19 \cdot 10^{-9} \text{ мм}^3 = 19,14 \text{ мм}^3$$

Шар такого объёма имеет диаметр ($d_{ш}$):

$$d_{ш} = (6 \times V_{ш} : \pi)^{1/3} = (6 \times 19,14 \text{ мм}^3 : \pi)^{1/3} = 3,32 \text{ мм}$$

В сравнении с обычной булавочной головкой это примерно на 1 мм больше. И вот в объёме такого шарика может поместиться генетический материал всего человечества!

Третий пример: Реализованная в молекуле ДНК огромная плотность записи информации на десяток порядков превосходит возможности наших современных компьютеров. Получить некоторую ясность о такой степени миниатюризации поможет нам следующий пример. Представьте себе, что мы из материала булавочной головки диаметром 2 мм вытягиваем тонкую проволочку такого же диаметра, как у молекулы ДНК. Какой же длины окажется эта проволочка? Диаметр молекулы ДНК $d = 2 \text{ нм} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ мм}$ (радиус = 10^{-6} мм).

Площадь поперечного среза нити молекулы ДНК (A):

$$A = r^2 \times \pi = (1 \text{ нм})^2 \times \pi = (10^{-6} \text{ мм})^2 \times \pi = 3,14 \cdot 10^{-12} \text{ мм}^2$$

Длина проволочки $L_n = \text{объём булавочной головки } V_6 : \text{площадь поперечного среза ДНК}$

$$L_n = V_6 : A = 4,19 \text{ мм}^3 : (3,14 \cdot 10^{-12} \text{ мм}^2) = 1,33 \cdot 10^6 \text{ км}$$

Длина экватора равна 40 000 км

$$k = 1,33 \cdot 10^6 \text{ км} : 40\,000 \text{ км} = 33,3$$

Если бы мы вытянули из материала булавочной головки тонкую проволочку, диаметр которой был бы равен диаметру молекулы ДНК, то этой проволочкой можно было бы обвить Землю по экватору более, чем 33 раза!

Эти приведенные для сравнения примеры показали нам с захватывающим дух способом, с какой гениальной программой памяти относительно экономии материала и миниатюризации мы имеем дело. Здесь реализована наивысшая известная статистическая информационная плотность. Наши высоко-интегрированные программы памяти в современных вычислительных устройствах еще очень далеки от этой плотности записи информации.

Литература:

В. Гитт: «В начале была информация», Симферополь „ДИАЙПИ“ 2008, ISBN 978-966-491-019-1 (укр)

W. Gitt: „Am Anfang war die Information“, Hänssler-Verlag, 3. Auflage 2002) ISBN 3-7751-3702-5 (нем)