

ДНК в компютъра – Природата подсказва нови решения

Десислава Нешева

Дезоксирибонуклеиновата киселина (ДНК) е носител на генетичната информация за всяко живо същество. Тя е огромна, но заема малко физическо пространство, съхранява се дълго и се възпроизвежда надеждно. Тайната ѝ е в уникалната структура на двойноверижна молекула, изградена от 4 двойки бази (Агенин, Гуанин, Цитозин и Тимин), свързани по строго определен начин, в който се крие информацията. Днес е изучена достатъчно добре, макар и не напълно, а учените търсят възможности за приложение на ДНК в много по-широк обхват от функцията, отредена ѝ в Природата.

Днешната дигитална експлозия създава нарастваща нужда от нови технологии за надеждно съхранение на големи количества данни за продължителни периоди от време. ДНК може да архивира зашеметяващо количество информация в почти невъобразимо малък обем. При правилна обработка остава стабилна в продължение на десетилетия на стайна температура и може да издържи много по-дълго в контролирана среда. А да припомним, че днешните твърди дискове, които са най-масовите компютърни записващи устройства, се нуждаят от периодично резервно архивиране или подмяна на няколко години, защото носят риск от загуба на данни.

Засега съхранението на информацията е поверено главно на магнитни,

Човечеството вече е в информационната ера, компютърната революция не само не е завършила, но всъщност едва сега набира истинския си размах. И все по-бързите процесори и шини се нуждаят от все повече устройства за надеждно съхраняване и опериране с все по-огромни обеми информация. Все още неизучена докрай, клетката и ДНК може да предложи решение на този проблем.

правилна обработка остава стабилна в продължение на десетилетия на стайна температура и може да издържи много по-дълго в контролирана среда. А да припомним, че днешните твърди дискове, които са най-масовите компютърни записващи устройства, се нуждаят от периодично резервно архивиране или подмяна на няколко години, защото носят риск от загуба на данни.

Засега съхранението на информацията е поверено главно на магнитни,

оптични и други технологии, като данните (текстове, цифри, музика, звуци, картини и др) са записани в двоична форма. Тези техники вече изчерпват възможностите си. Очаква се до края на 2025 г, човечеството да генерира над 175 зетабайта данни (1 зетабайт е целият интернет трафик през 2016 г.), което при днешните технологии изисква натоварване на много и скъпоструващи сървъри и други носители. Съхранена в ДНК, тази информация би се събрала примерно в размер колкото топче за тенис на маса.

Предимствата на ДНК като средство за запазване на информация включват още забележителна стабилност, лекота на репликация и архивирание (копиране на големи количества данни). Най-очевидният начин за съхраняване на информация в ДНК е чрез включване на данните в нейната последователност, процес, който изисква ДНК верига, която да се синтезира от нулата. Това обаче е доста скъп, сложен и бавен процес.

За надеждно дългосрочно съхранение изкуствени ДНК вериги може да бъдат вмъкнати както в инертни, така и в живи обекти. Има бактерии, спори,

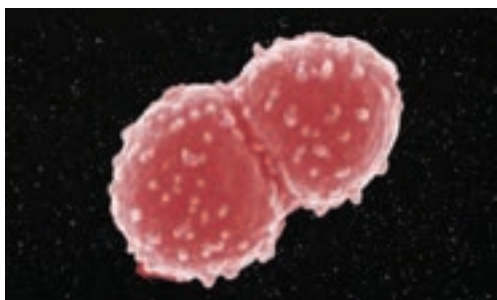
насекоми и плевели, които оцеляват в крайни условия и може да са подходящи за съхранение на информация. Пример е *Deinococcus radiodurans* (*D. radiodurans*),



Дезоксирибонуклеиовата киселина не само пренася „информацията на живота“, но може да послужи и за извор на художествено вдъхновение. Източник: <https://medium.com/@douglaspschwartz/beyond-binary-the-convergence-of-quantum-computing-dna-data-storage-and-ai-14e653c8e67e>



Исторически прогрес в записването на информация и потенциалната възможност за приложение на ДНК, като носител на данни. Източник: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/nano.202100275>



Електронна микроскопска снимка на бактерията *Deinococcus radiodurans*. Източник: <https://khoahoc.tv/vi-khuan-deinococcus-radiodurans-sinh-vat-duy-nhat-chiu-duoc-buc-xa-cao-8942>



Електронна микроскопска снимка на бактерията *Esherichia coli*. Източник: <https://medpedia.framar.bg/%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F/%D0%BA%D0%BE%D0%BB%D0%B8-%D0%B1%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B8>

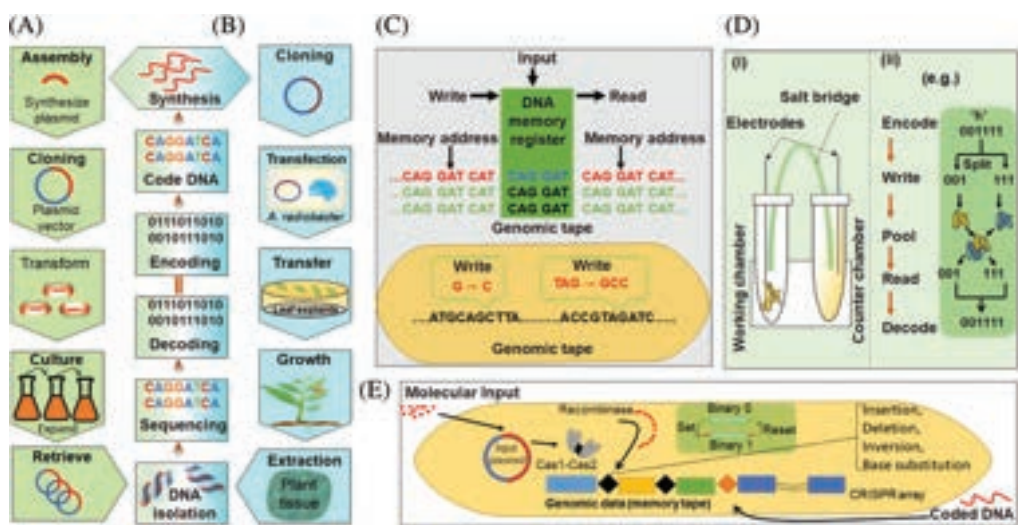
микроорганизъм, който може да оцелее при екстремни условия, включително ултравиолетови лъчи, изсушаване, частичен вакуум и йонизиращо лъчение до 1,6 милиона рад и има способност да расте при температури до 55°C.

Идеята за използването на биомолекулите като възможен начин за съхранение на различни данни е сравнително стара. Още през 60-те години на XX век (1964 г.) е представена идеята за запис на информацията в едноверижни молекули на ДНК, правени са опити за съхраня-

ването на произведения на изкуството, преобразувани в двоичен код, кодиран в ДНК и вмъкнат в *Esherichia coli* и още тогава небиологичната информация е успешно извлечена.

С развитието на компютрите и въобще на дигиталните технологии, тези опити отиват напред. През 1999 г., Катерин Клеланг (Catherine Clelland) от Ню-Йорк скрива тайно съобщение в ДНК микроточка върху филтърна хартия. Целта е била да се пробва метод за скрито предаване на шпионска информация (doi: 10.1038/21092). Писмото е анализирано и информацията е успешно възстановена. Две години по-късно сътрудникът ѝ Картър Банкрофт (Carter Bancroft) директно кодира английски букви в ДНК, която е прочетена с помощта на секвенатор. Това начинание показва потенциала на ДНК като подходяща алтернатива за дългосрочно съхранение на данни за бъдещето. По подобен начин английски текстове са кодирани в синтетични ДНК вериги и вмъкнати в бактерии като в архив.

Много изследователи се насочиха към *ин vivo* базирани подходи с модифицирани схеми за кодиране и декодиране, за да подобрят трайността на съхранение на данни в живи организми. Първоначално информацията се съхранява в геномната ДНК на растителни или бактериални клетки, използвайки метода на традиционното генно инженерство (молекулярно клониране). При него обаче може да се внесе малко количество от желаната информация. Вече има по-съвременни методи като редактиране на генома и CRISPR-Cas технологии (Вж. Природа 2020/1), които дават на учените способността да променят геномната ДНК на живите клетки, позволявайки добавяне, премахване или промяна на информация на определени места. Типичният



Преглед на различни подходи към *in vivo* базирано съхранение на данни. А) Базирано на бактерии цифрово съхранение на данни. В) Базирано на растителни носители цифрово съхранение на данни. С) SCRIBE операции с памет: операциите за запис и четене. D) Електрохимичен редокс контролер за запис на цифрова информация директно в живи клетки. Е) Преглед на различни класове *in vivo* стратегии за писане и съхранение на данни в ДНК. Източник: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/nano.202100275>

процес на *in vivo* съхранение на данни, базирано на ДНК, включва клониране на последователности в плазмид (една или няколко малки, циркулиращи ДНК-молекули в прокариотни клетки, извън геномната ДНК на бактерията) и след това трансферът им в клетъчен геном. По този начин информационните кодирани ДНК последователности могат да се поддържат в малки бактерии. Обаче полезният информационен товар зависи от типа и размера на плазмида. Освен това спонтанната мутация е често срещана при бактериите, което може да промени информацията, съхранявана в ДНК през периода на бактериалното размножаване. Фахим Фазадфарг (Fahim Fazadfar) и колегите му от Техническият университет в Масачузетс въвеждат SCRIBE рекордерите (от Synthetic Cellular Records Integrating Biological Events). Те представляват синтетични клетъчни записващи устройства, интегриращи

биологични носители, които преобразуват геномната ДНК в нещо като „магнетофон“ за запазване на информация в живи клетъчни популации. При SCRIBE едноверижна ДНК се въвежда вътре в живите клетки в отговор на произволни транскрипционни сигнали (химични индуктори и светлина). Тази платформа е подходяща за събиране на нови данни, тъй като използва много клетки в бактериални култури за разпределено съхранение на информация. Архивира истории на събития във фракцията от клетки в популация, които носят специфична записана в тях информация.

Използвайки системата CRISPR-Cas, учените успяват да кодират изображения и кратък филм в генома на бактерията *Escherichia coli* (*E. coli*). По-късно е кодирана цифрова информация в CRISPR spacers, използвайки физически междинни прогукти като синтезирани олигонуклеотиди, доставени до клет-

ките. Тези стратегии за кодиране пропускат едноетапния подход за конвертиране на цифрови данни директно в клетъчна ДНК, като по този начин предотвратяват директното цифрово съхранение на данни *ин vivo*. Сунг Йим (Sung Yim) от Колумбийския университет преодолява това ограничение и демонстрира, че проектираната чувствителна към редокс адаптация CRISPR система, може да кодира двоични данни в CRISPR масиви от *E. coli* чрез електрическа стимулация (DRIVES). Въпреки че DRIVES преодоляват ограниченията за използване на живи клетки като носители на памет, все още остава проблемът за размера на данните. С развитието на биокомпютрите този проблем ще бъде



Растението *Nicotiana benthamiana*. Източник: <https://solgenomics.sgn.cornell.edu/organism/1490/view>

елиминиран. Този технологичен подход може да има огромни предимства и важни търговски приложения, особено в области, които се нуждаят от защитени данни, като банково и съдебно дело или разузнаване.

Словенските учени Карин Любич (Karin Ljubic) и Изток Фистер (Iztok Fister) от университета в Марибор през 2013 г. за първи път предлагат съхраняване на цифрови данни в растения и семена. Те кодират компютърната програма Hello World - сравнително опростена и малка по обем, в ДНК последователност, която после е прехвърлена в плазмиден вектор и е прехвърлена в растението *Nicotiana benthamiana*.

Този експеримент показва ключовите процеси, включени в съхраняването на данни в растенията и извличането на данни от тях. Цялата програма предлага опции за кодиране с уникални предимства. Избягват се последователностите, които са свързани със синтеза, гълзите повтори и тези с екстремно съдържание на Гуанин и Цитозин (GC райони). Другата опция използва кодиране на компютърен език (Huff Man), което може да намали общия брой битове и облекчава декодирането на ДНК последователността обратно в текст. ДНК кодът е изкуствено синтезиран и клониран в линеаризирания плазмиден вектор. Тук генната технология се съчетава с растениевъдство. Бинарният плазмид се електропорира в клетки на бактерията *Agrobacterium tumefaciens*, а след период на култивиране те се вкарват в листните експлантите на *Nicotiana benthamiana*. Като се използва стандартният протокол за работа с ДНК, тя се изолира и секвенира. Резултатите показват, че включените данни в листата се интерпретират със 100% точност.



Електронна микроскопска снимка на бактерията *Agrobacterium tumefaciens*. Източник: <https://www.sciencephoto.com/media/13176/view/agrobacterium-tumefaciens>

Експериментира се и с *Инвитро* (от лат. „в стъкленица“) съхранение на данни чрез ДНК. Иновативните съвременни методи позволяват на ДНК да съхранява информация под формата на бинарен код – последователност от нули и единици, използвана от стандартните компютри. Това може един ген да бъде по-евтин и по-бърз метод за съхранение на данни, отколкото съхранение на генетичната информация в последователността на структурните елементи, които изграждат ДНК. Методът, използван от клетките, изисква повече усилия в сравнение със запазването на изкуствено генерирани данни. Проучване, проведено от китайски учени и публикувано през октомври 2024 г. в сп. *Nature*, показва как 60 доброволци от различни среди и общности доброволно се включват в изследване, в което успяват посредством ДНК да съхранят текст по свой избор. Много от тях подхождат със скептицизъм, но се убеждават, че тази техника работи коректно.

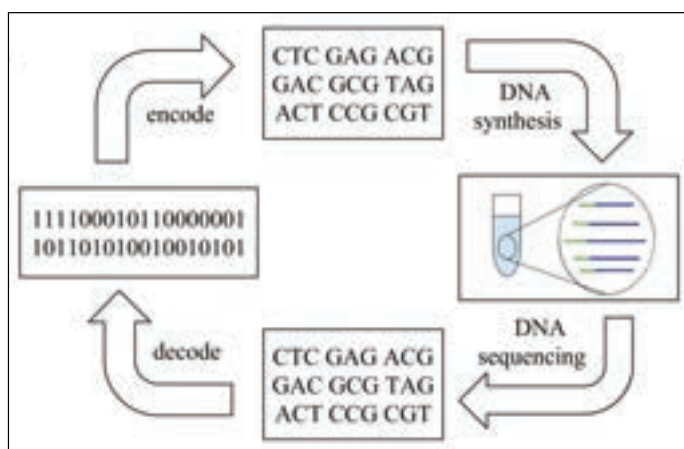
Подходът с използване на ДНК като носител има и своите ограничения, защото е бавен и много по-скъп от електронната форма за съхранение на

данни. За разработване на по-евтин и по-бърз начин, учените се насочват към епигенома. В епигенетиката молекулите, които клетките използват за контрол на генната активност, не водят до модифициране на самата ДНК последователност. Като пример може да посочим метилирането, при което метилови групи могат да бъдат добавени или отстранени от ДНК. Разработи се система, при която серия от кратки, сглобяеми ДНК последователности – със или без метилови групи, може да се добавят към реакционна епруветка, за да се образува нарастваща ДНК верига с правилния двоичен код.

За да извлекат данните, изследователите са използвали техника за секвениране на ДНК, която може да открие метиловите групи по веригата на ДНК. Резултатите могат да се интерпретират като двоичен код, с наличието на метилова група, съответстваща на 1, а отсъствието на 0.

Тъй като техниката използва сглобяеми фрагменти ДНК, то може да бъде допълнително оптимизирано за масово производство, което би го направило много по-евтино. Друг проблем е колко добре се мащабира системата, за да поеме големи количества данни. Китайските учени кодираха и след това прочетоха инструкции за създаване на изображения на отпечатък на тигър от династията Хан от дребен Китай и цветна картинка на панда в зелена среда. Изображенията бяха кодирани в почти 270 000 бита (1 или 0). За момента е необходимо да се поработи и в посока понижаване на разходите, за да може да стане конкурентен метод за съхранение спрямо електронните носители на данни.

Може да се приеме, че съхранението на данни *инвитро* включва три основ-



Представяне на схемата за кодиране и декодиране на информацията във веригата на ДНК. Източник: Kelsey Suyehira. USING DNA FOR DATA STORAGE: ENCODING AND DECODING ALGORITHM DEVELOPMENT. Master degree thesis in Computer Science, Boise State University, December 2018

ни техники за ДНК наноинженерство: кодирането на четирите бази (А, Т, С и G) на ДНК (ДНК-пул или олигосъхранение), ДНК наноструктури и ДНК модификация. ДНК-пул съхранението е една от най-популярните форми, използвана в миналото и днес. Повечето проучвания за съхранение на ДНК се основават на къси ДНК олигонуклеотиди в ДНК пул, обединен за съхранение в течна среда.

Хюсеин Язди (Hussein Yazdi) и колегите му от университета в Илинойс, използват преносима платформа с произволен достъп, за да кодират успешно 3633 байта информация в 17 ДНК фрагментни блока (16 блока бяха с дължина 1000 базови двойки и един блок от 880 базови двойки) и след това възстановяват кодираното изображение с помощта на секвениране. Цената на синтеза на ДНК-блок обаче е висока.

Развитието на ДНК наноструктури с висока програмируемост може да осигури възможности за съхраняване на цифрови данни. Това включва разработването на подобна на фибри структура, която може да имитира битове чрез

смес от специфичен състав от нуклеотиди. Благодарение на свойствата за молекулярно разпознаване на структурата на ДНК, могат да се конструират устройства, подобни на памет. Така веригите на ДНК могат да бъдат програмирани да се самосглобяват в наномасштабна структура.

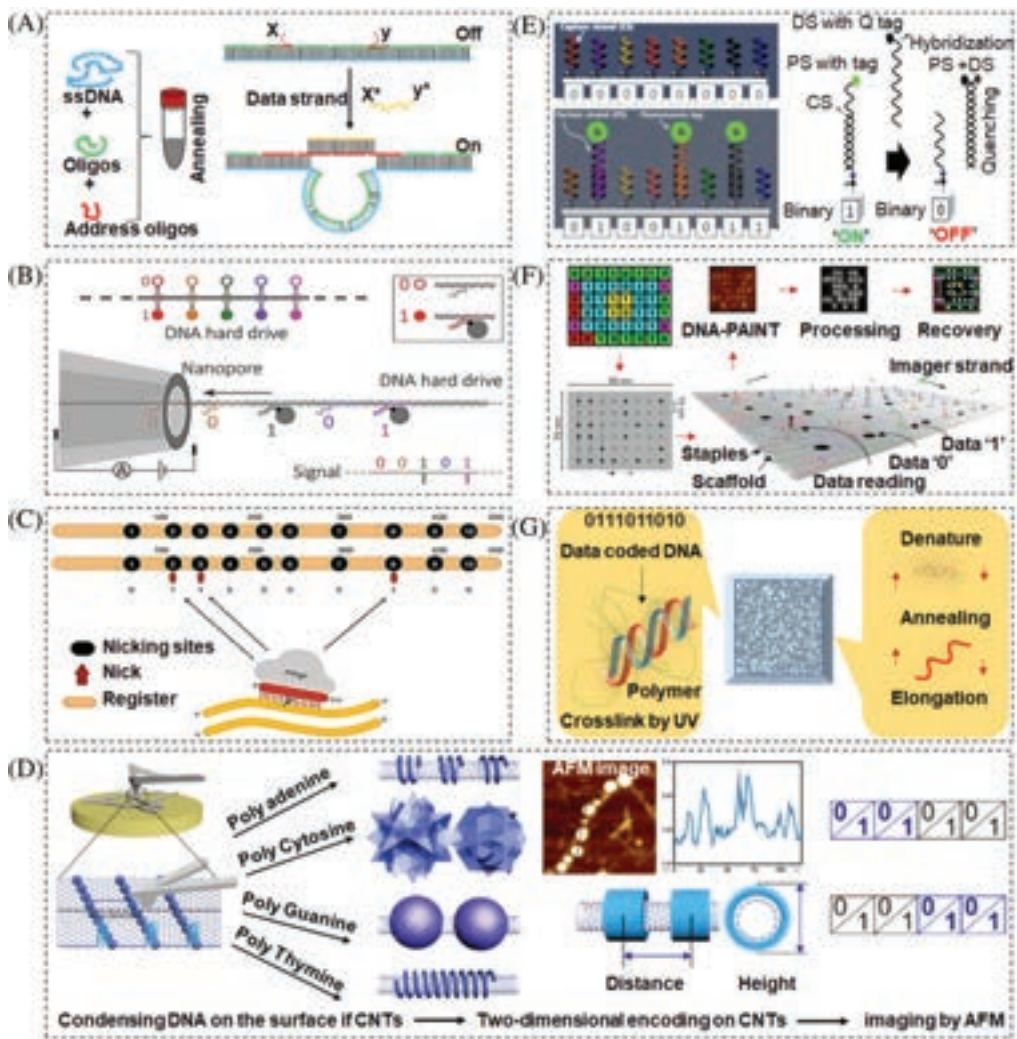
ДНК нанопреключвателите се самосглобяват с помощта на ДНК оригами подходи. Всъщност са супер-наноструктура, която се получава

чрез съгъване на много дълги едноверижни ДНК молекули в специфични модели/подгребки чрез хибридузиране със стопици къси нишки, които служат като телбод. В резултат на своята висока интегралност, твърда/стабилна структура и отлична устойчивост на ензимно смятане, ДНК оригами е широко използван като универсален шаблон за различни приложения, включително компютри и съхранение на информация. Информацията, кодирана в макетите на ДНК оригами, се чете чрез наблюдение на свързването на сонди за флуоресцентни изображения с помощта на микроскопия с висока разделителна способност. Районите, които светят, са „1“, а тези, които не светят, са „0“. Използвани са многослойни схеми за коригиране на грешки, за да се подобри запазването на данни. Алгоритмите за коригиране на грешки напълно възстановяват съобщението дори когато отделни докинз райони или цяло оригами липсват.

ДНК структурите, носещи цифрова информация, протичат през стъклени нанопори, вградени в микрочипове,

за да се декодира информацията. Наноструктурите с формата на фибри ще генерират серия от видими импулси на вторичен йонен ток. Разделителната способност на системата е достатъч-

на, за да разграничи фибри от 8 базови двойки от тези от 16 базови двойки, които представляват съответно „0“ и „1“. ДНК фибрите се конструират чрез смесване на ДНК структура и олигонук-



In vitro цифрово съхранение на данни, базирано на ДНК наноинженерство. А) базирана на ДНК нанопреключвател система с презаписваема памет. В) Четене на данни на ДНК-твърдия диск с помощта на нанопори. С) стратегия за перфокарти на ДНК, която кодира данни за нативни ДНК последователности чрез ензимно пробиване. D) Платформа за съхранение на ДНК данни с визуален изход чрез атомно-силово микроскопично (AFM) изобразяване и анализиране. Източник: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/nano.202100275>

леотиди за образуване на библиотека и съхраняване на информация. За да се активират тези динамични операции, са направени няколко корекции на системата, като увеличаване на диаметъра на нанопорите, а две групи от ДНК последователности са асиметрично разположени по дължината на ДНК, за да покажат началото и края на региона за съхранение. Освен това е въведена и схема за криптиране чрез задържане на избрани вериги като ключове. Информацията може да бъде декриптирана само чрез физическо възстановяване на тези битове с правилните ключове. Метод, използващ нанопори, е успешно внедрен от Oxford Nanopore Technologies в продукт, в който 512 биологични нанопори са интегрирани в един микрочип за секвениране на ДНК.

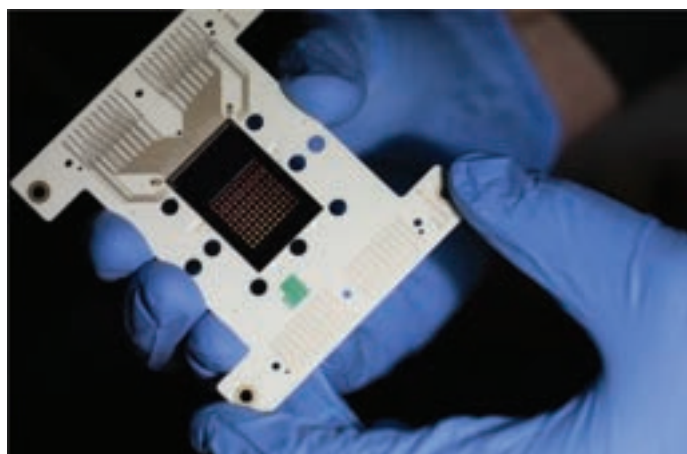
Други учени, базирайки се на сходни технологии, разработват изчислителна наносистема, използваща полеви транзистори с въглеродни нанотръби (CNFET). Те улавят огромни количества данни всяка секунда, съхранявайки ги вър-

ху микрочип и извършвайки обработка на данни и произвеждайки „високо обработена“ информация. Посредством „тубулна нуклеинова киселина“, изградена на базата на кондензиране на ДНК вериги върху повърхността на едномерни едностенни въглеродни нанотръби (SWCNT) се предлагат различни модели, които могат да бъдат приложени към 2D кодиране и съхранение на информация. Кодираната информация е разчетена чрез изобразяване с атомно-силов микроскоп (AFM), което представлява нов подход.

Предлагат се и QR-кодиран ДНК микрочипове. Концепцията въвежда места на сръзване във фосфатния гръбнак на еднотрижната ДНК верига. Тези места на скъсване са наречени никинг и служат като ког. Карса Табатабаей (Karsa Tabatabaei) в Илинойския университет въвежда ДНК базирани перфокарти за съхраняване на данни чрез естествени ДНК последователности, получени с ензимно изрязване. ДНК последователността се извлича от бактериална ДНК,

за да се изберат нативни ДНК регистри с желани елементи на последователност за запис на данни. Данните са записани под формата на никнове в паралелни позиции в последователността на двитрижната ДНК.

Въз основа на схемата за разпознаване на образи, американският учен Фредерик Зенхаусерн (Frederic Zenhausern) е патентовал иновативен метод и система за съхраняване и разчитане на масиви от модели на биологична информация, из-



Изглед на микрочип върху който са мобилизирани ДНК молекули, носители на база данни. Източник: <https://www.bbc.com/news/science-environment-59489560>

ползвайки техниката за изобразяване на изсушени ДНК модели. Когато капка от сложен биофлуид изсъхне върху твърд субстрат, тя оставя модел на овлажняваща линия (като форма, позиция, дължина на линията, кривина, повърхностна площ), което е комплексен подпис на условията на сушене, морфологията и химията на субстрата и състава на течността. Изсъхналият информационен модел може да бъде представен с изображение. Тази техническа характеристика на дизайна на прототипа може да се отвори за разработване на устройство от следващо поколение за ефективни начини за четене на съхранените данни с разумна скорост.

С разработване на сложните технологии учените се изправят пред груг важен проблем, а именно възможността за максимално дълго физическо съхранение на записаните в ДНК данни. В живите системи ДНК молекулата се променя безкрайно поради клетъчни метаболити, окислително увреждане и екзогенни агенти – йонизиращо лъчение, ултравиолетово лъчение и гр. От груга страна, ДНК ще се разгради без тези механизми поради вътрешна нестабилност. ДНК е относително крехка биомолекула ако е без никаква защита. Високата влажност, светлината и топлината могат да причинят необратими щети. Все пак, ако е запазена в подходяща среда, ДНК се счита за най-добрия метод за съхранение на данни на бъдещето, който може да оцелее дори след хипотетична глобална катастрофа.

ДНК пробите често се охлаждат или замразяват при -20°C или -80°C за консервиране, главно в лабораторни условия. Тези техники са скъпи за поддържане и няма гаранция за дългосрочно съхранение. Замразяването/размразяването на ДНК скъсява нейния живот, като компро-

метираща целостта на ДНК молекулите. Затова се търсят други методи. Най-добрата стабилност на ДНК е постигната в рамките на неорганична матрица, съставена от силициев диоксид, железен оксид или комбинация от двесте. За да предпазят ДНК от увреждане при високи температури и при груги тежки условия, изследователите капсулират ДНК в силициеви перли и покриват перлите с биоразградим термопластичен полиестер (поликапролактон). От груга страна възраждането на ДНК в 3D отпечатан материал позволява да се съхранява информация във всеки физически обект и потенциално отваря нови перспективи за запазване на ДНК данни. Подходящите условия на съхранение, съчетани с подходящо имобилизиране на носителя, биха могли да осигурят отличен живот на базите данни в ДНК до хиляди години. Наскоро са създадени няколко базирани на стайна температура технологии за съхранение на ДНК, включително QIA safeDNA Tube (QIAGEN), GenTegra (IntegeneX) и DNASTable (BioMatrica), които показва своята ефективност при защитата на ДНК проби.

Сред тези технологии за съхранение при стайна температура, DNASHells системите гарантирано ще издържат над 100 години без разграждане на ДНК. Тя се съхранява в инертна атмосфера (аргон и хелий) в малки стъклени флакони, поставени в лазерно запечатани капсули от неръждаема стомана. Тя получи световен патент за иновативен метод за съхранение на ДНК, лицензиран от Imogene.

Съхранението на информацията обаче е само част от проблемите пред дигиталното бъдеще. Бинарният механизъм също спъва развитието. За преодоляването му идват квантовите компютри. Те използват енигматичните



Портрет на Розалинд Франклин. Всяка снимка в този съставен портрет е кодирана в масилото с помощта на ДНК

и мощни принципи на квантовата механика. Квантовото изчисление, макар и все още в етап на развитие, стои в челните редици на изчислителната революция. То обещава да реши сложни проблеми, далеч извън обсега на традиционните компютри. Съхранението на ДНК данни се появява като промяна на парадигмата, въпреки градивните елементи на живота, за да революционизира начина, по който съхраняваме информация. Освен съхранението, ДНК има потенциал и за използване в различни изчисления. Учените изследват ДНК технологията, при която биологичните процеси манипулират ДНК вериги, за да извършват изчисления. Това може да доведе до проби в решаването на сложни проблеми, които са неосъществими

за конвенционалните компютри. Революционната интеграция би била върхова с овладяване на потенциала на изкуствения интелект (AI). Интегрирането на AI с квантово изчисление и съхранение на ДНК данни представлява скок напред в изчислителните възможности. AI алгоритмите могат да използват огромната процесорна мощ на квантовия компютър, за да анализират големи набори от данни по-ефективно от всякога, а с огромния капацитет за съхранение на ДНК, AI става важен за управлението и интерпретирането на това богатство от информация. AI алгоритмите могат да бъдат проектирани за ефективно кодиране и ге-

кодиране на съхранени в ДНК данни, което ги прави достъпни за практическа употреба. Бъдещето вижда AI не само като инструмент, но и като проводник, оркестриращ взаимодействието между квантовите изчисления и съхранението на ДНК данни. Това включва разработване на нови алгоритми, съобразени с уникалните свойства на квантовите и ДНК базирани системи. Хибридно квантово ДНК изчисление може да трансформира нашите представи в рамките на информацията и да въведе ера на силно персонализирана медицина и сверхточни симулации на отделни казуси. Може дори да изисква преразглеждане на теорията на информацията и преосмисляне на начина, по който хората взаимодействат с напредналия AI. ■

Запознайте се с най-голямата пчела в света!

Може би малцина знаят, че семейството на пчелите (Apidae) е едно от най-богатите на видове от огромния клас на насекомите (Insecta). Досега от него са открити и описани в науката около 20 000 вида и техният брой продължава да расте.



Медоносните пчели са се появили преди около 30 милиона години и се предполага, че тяхната родина е Югоизточна Азия, по-специално района на Филипините. Днес, с помощта и на човека, те населяват почти всички континенти, с изключение на Антарктида, и са едни от най-добре проучените от човека насекоми. Не впечатляват с едри размери, но притежават едно оръжие – жилото с токсична субстанция, което избягват почти всички живи същества. Средните размери на тялото на медоносните пчели са около 1,5 – 2 см., но и между тях има „гиганти“, които достигат цели 3 см.! Това са 2 вида, които доскоро бяха считани за един вид – *Apis dorsata*. След използването на съвременни генетични методи в края на XX век в науката бе описан и втори вид – *Apis laboriosa*, който се оказа и най-голямата медоносна пчела в света, позната и под популярното име *Хималайска гигантска медоносна пчела* (*Himalayan giant honey bee*).

Тя обитава планинските скалисти хребети на Непал, главно в района на Хиндокуш, където строи своите гнезда и, както всички свои събратя, събира мед. Среща се най-често на около 2500 – 3000 м. надморска височина и прави гнезда в скални цепнатини, защитени от силните гъжгове и бури на тази височина. Събира мед главно от цветовете на Рододендрон (*Rhododendron*) и понякога се изкачва в търсенето на цфтящи растения и до 4000 м. Гнездата са

доста големи и понякога в тях се събира до 60 кг. мед! Добиването на този мед обаче е много трудно и най-често става от опитни алпинисти, които трябва да се изкачват или да висят с часове на въжета, дълги до 100 м., по скалистите цепнатини, защитени в специални

облекла и покривала от опасните ужилвания на пчелния рояк.

Събираният от Хималайската гигантска медоносна пчела мед е известен под името „червен“ или „луг“ мед, защото има червен цвят и халюциногенни свойства. Активното вещество в лудия мед е Граянотоксин – невротоксичен дитерпен. Пропада се на доста по-високи цени в сравнение с меда от обикновената медоносна пчела. В случаите, когато е събиран от бели рогодентрони, в меда е установен и сиванотоксин, който може да причини храносмилателни разстройства, повръщане и др. Червеният мед е доста търсен на международния пазар главно поради неговите специфични и успокояващи свойства върху нервната система. По медийни сведения цената на 250 гр. „луг“ (червен) мед достига до 70 долара!

В последните години местните събирачи на този специфичен мед са разтревожени от намаляването на популацията на Хималайската гигантска медоносна пчела. Докато в миналото в района на Хиндокуш са събирали над 1000 кг. годишно, днес те получават едва около 250 кг. Според тях това се дължи главно на значителните климатични промени, които не подминават и този район на света, както и на засиленото антропогенно влияние и шума, който съпътства многобройните туристи в Хималаите.

По материали на „Агенция Франс прес“