

داده ذخیره شده در سلولهای زنده

By Kimberly Patch, Technology Research News
January 29/February 5, 2003

هر یک از انواع رسانه های ذخیره سازی (از سنگ و کاغذ تا دیسک های مغناطیسی) ناگزیر از نابود شدن هستند. با در نظر گرفتن تاریخ و بررسی کتابخانه هایی که نابود شده و یا دچار آتش سوزی شده اند و همینطور خراب شدن هر از چندگاه هارد دیسک هایی که حاوی اطلاعات مفید هستند به این نتیجه می رسیم که اطلاعات همواره به خاطر تسلیم شدن رسانه های ذخیره سازی در برابر نیروی طبیعت در معرض خطر نابود شدن هستند.

در حال حاضر محققان آزمایشگاه ملی Pacific Northwest در حال بهره برداری از نیروهای طبیعت برای ذخیره دائمی تر اطلاعات هستند.

این محققان از رشته های مصنوعی DNA برای رمزگزاری قسمت هایی از یک متن استفاده کردند، سپس آن را به DNA یک باکتری اضافه کردند و بعد محیط را برای تکثیر باکتری فراهم نموده و در نهایت بعد از این کار قسمت داده ای رشته DNA را بازیابی کرده و اطلاعات را کشف رمز نمودند.

چون DNA از تکثیر ارگانسیم های زنده حاصل می شود اطلاعات ذخیره شده از این طریق هم باید تا زمانی که رشته ارگانسیم ها زنده است، زنده باشند. DNA از چهار قسمت بنیادی که به ستون قند فسفات متصل شده اند، تشکیل شده است. ترکیب متفاوت این چهار قسمت می تواند اطلاعات دیجیتالی را ارائه دهد.

کارکرد طبیعی یک DNA همان ذخیره سازی اطلاعات می باشد. ما می توانیم از این پدیده طبیعی و نانومتری و تجربه شده که در طی میلیون ها سال پیش تکامل یافته استفاده کنیم. روشهای رمزگزاری می تواند برای ذخیره کردن هر اطلاعات دیجیتالی مانند موسیقی، عکس، متن و هر چیزی که قابل فرستادن و دریافت کردن از شبکه باشد مورد استفاده قرار گرفته و به این فرم ذخیره شوند.

DNA می تواند حجم زیادی از اطلاعات را در فضایی بسیار کوچک ذخیره سازد. با در نظر گرفتن این نکته که یک میلی لیتر از مایع می تواند حاوی ۱۰ میلیارد باکتری باشد، ظرفیت بالقوه حافظه های DNA ای باکتریایی بسیار عظیم می باشد، البته با فرض اینکه اطلاعات بتوانند به طور سازمان یافته ذخیره و بازیابی شوند.

یک مشکل در ذخیره سازی در DNA زنده این است که DNA به طور طبیعی جهش می یابد و باعث تغییر اطلاعات می شود. اطلاعات ذخیره شده با استفاده از روش محققان نیز دارای همین مشکل می باشد اما جاسازی اطلاعات در DNA یک ارگانسیم که می تواند در شرایط سخت زنده بماند این خطاهای بالقوه را کاهش می دهد.

محققان همچنین در حال انجام دادن پروژه هایی هستند که وارد حوزه مهندسی ژنتیک شده و منجر به بررسی باکتری های *Deinococcus radioduran*^۱ می شود. دلیل انتخاب این باکتری ها مقاومت بسیار زیاد آن در برابر خطرات و اشعه های مضر محیط می باشد.

این باکتری مقاوم در برابر پرتو افشانی می تواند برای نگهداری داده در هنگام حمله اتمی یا اتفاقات این چنینی مورد استفاده واقع شود.

ارگانسیم ها در برابر پرتو افشانی به دلیل به وجود آمدن جهش های فراوان که باعث می شود فرایند زیستی آنها نتواند به درستی کار کند از پای در می آیند. و ارگانیسمی که در مقابل آسیب های پرتو افشانی مقاوم است به این معنی است که در مقابل جهش نیز آسیب ناپذیر می باشد. به وسیله انتخاب دقیق ارگانسیم میزبان و روش رمز گذاری داده نرخ بروز خطا توسط جهش بسیار پایین می آید.

با ادامه تحقیقات در همین زمینه دانشمندان به شواهدی مبنی بر چگونگی زنده ماندن این باکتری ها در دزهای بالای پرتو افشانی رسیده اند. فرم DNA این باکتری به طور محکمی به هم متصل شده اند به طوری که وقتی پرتو، DNA را تکه تکه می کند این تکه ها در جای خود باقی می مانند و به این ترتیب DNA با ترتیب درست خود تعمیر می شود.

روش ذخیره سازی داده همچنین می توان تعدادی کپی از داده تولید کند. به این ترتیب هنگام بروز خطا این داده ها می توانند جهت تصحیح خطا با هم مقایسه شوند. البته در این صورت مقدار افزونگی در یک پیغام بسیار بالا می رود چون که برای هر سلول باکتریایی یک کپی وجود دارد و به همین صورت در یک کلونی باکتریایی به اندازه یک نوک سوزن میلیون ها سلول کپی به وجود خواهد آمد.

محققان DNA ای را که حاوی اطلاعات بود را درون یک ماژول DNA ای حلقوی، با قابلیت تولید خود جاسازی نموده و در داخل میزبان باکتریایی قرار دادند. آنها با استفاده از شوکهای با ولتاژ بالا ماژولهای DNA ای حلقوی را به باکتری شناساندند. سپس DNA جهت ذخیره سازی طولانی مدت با ژنوم باکتری ترکیب شد.

محققان به باکتری اجازه دادند که تا ۱۰۰ بار به تکثیر مشغول شود سپس اطلاعات رمز گذاری شده را به وسیله استخراج قسمتی از رشته DNA که حاوی پیغام بود را از جوان ترین باکتری تکثیر شده بازیابی کردند و با استفاده از روش "واکنش زنجیری پلیمرز"^۲ آن را خواندند. این کار طی یک رویه

^۱ اگر بخواهیم این نام را به طور دقیق معنی کنیم می شود "دانه ناشناس مقاوم در برابر پرتو افشانی". برای کسب اطلاعات بیشتر می توانید به صفحه http://web.umr.edu/~microbio/BIO221_2000/Deinococcus_radiodurans.html مراجعه کنید.

^۲ روش واکنش زنجیری پلیمرز یا polymerase chain reaction (PCR) روشی است جهت تشخیص باکتری ها. در این روش دانشمندان دمای DNA را بالا می برند تا جایی که باندهای بین بازهای نیتروژن دار تشکیل دهنده میان دو زنجیره شکسته شوند و دو زنجیره از

آزمایشگاهی که شامل یک سری سیکل های گرم کردن و سرد کردن بود انجام شد و حدود دو ساعت به طول انجامید.

محققان برای آزمایش، از هفت باکتری مختلف جهت ذخیره و بازیابی هفت قطعه DNA به طول ۴۲ جفت باز^۳ که در محدوده ۵۷ تا ۹۹ قرار داشتند و حاوی اطلاعات رمز شده یک متن سرود بودند استفاده کردند. یکی از این قطعه ها حاوی متن "and the oceans are wide" بود.

نشان دادن اینکه ذخیره و بازیابی اطلاعات با استفاده از DNA یک ارگانسیم زنده امکان پذیر است گامی در جهت به وجود آمدن یک رسانه جدید ذخیره سازی می باشد.

گام بعدی ابداع راهی جهت بازیابی اطلاعات می باشد که به اندازه کافی سریع باشد تا بتوان این روش را قابل استفاده نمود. چالش تکنیکی که در حال حاضر وجود دارد توسعه توان عملیاتی بالا^۴ جهت بازیابی اطلاعاتی است که قبلاً در باکتری ها ذخیره شده است. این ایده ای است که محققان هم اکنون در حال کار روی آن هستند.

این ایده ذخیره سازی اطلاعات در DNA چندان هم جدید نیست. در یک آزمایش منتشر شده در ۱۹۹۹، محققان آموزشگاه پزشکی Mount Sinai اطلاعاتی را رمز گذاری کرده و در یک رشته DNA قرار دادند، سپس DNA را درون یک نقطه چاپ شده روی یک سند قرار دادند، سپس این پیغام جاسازی شده را پس از فرستادن سند توسط پست امریکا بازیافت نمودند.

آزمایشات محققان آزمایشگاه ملی Pacific Northwest مفهوم DNA به عنوان یک رسانه ذخیره سازی را با ذخیره نمودن DNA حاوی اطلاعات، درون یک ارگانسیم زنده متحول ساخته است.

با این حال یک مشکل بالقوه در پروژه های محققان وجود دارد آنها می گویند که گنجایش حافظه بسیار عظیم است زیرا هر باکتری می تواند حاوی اطلاعات مجزایی باشد؛ انتخاب یک باکتری از یک کلونی بسیار مشکل است.

هنوز برای اینکه بگوییم چه زمانی این روش می تواند کاربردی شود خیلی زود است. برای اینکه بتوانیم این تکنولوژی را کاربردی کنیم نه تنها باید به پیشرفت تکنولوژیکی دست پیدا کنیم بلکه

هم جدا شوند. بعد از این کار محلول را خنک می کنند و دو قطعه کوتاه DNA به آن اضافه می کنند که به آنها Primers می گویند. هر کدام از این Primer ها طوری طراحی شده اند که قادر به پیوند خوردن با دو سر مجزای DNA باکتری دلخواه باشند. آنزیمهای لازم مانند DNA Polymerase به Primers اضافه شده و آنها را در راستای DNA دلخواه گسترش می دهند بنابراین آن دو زنجیره اولیه DNA به وسیله Primer ها تبدیل به چهار زنجیره می شوند. هر بار که این چرخه تکرار شود، تعداد زنجیره های DNA هم به صورت نمائی زیاد می شوند تا جایی که مقدارشان به حدی برسد که قابل مشاهده باشد.

برای اطلاعات بیشتر می توانید به صفحه <http://www.faseb.org/opa/bloodsupply/pcr.html> مراجعه نمایید.

^۱ اگر مولکول DNA را مانند یک نردبان مارپیچی تصور کنیم به هر پله این نردبان یک جفت باز یا base pair گفته می شود (باز نوعی ماده شیمیایی است) این بازها A، T، C و G نام دارند. هر ژن از چندین هزار جفت باز تشکیل شده است.

^۲ high troughput

باید پیامدهای محیطی و اجتماعی را نیز در نظر بگیریم و این چیزی است که هنوز به آن توجه نشده است.

هدف نهایی این تحقیق در آزمایشگاه ملی Pacific Northwest این است که بتوان با استفاده از ارگانسیم های زنده مقدار قابل توجهی از داده را با سرعت بالا ذخیره و بازیابی نمود. ارگانسیم های زنده ای همچون علف های هرز و سوسک های حمام که هزاران میلیون سال بر روی زمین توانسته اند نسل خود را حفظ کنند گزینه های خوبی جهت محافظت کردن از اطلاعات بحرانی برای نسل های آینده هستند.

دیگر کاربردهای بالقوه شامل علامت دار کردن DNA برای حفاظت از حقوق مالکیت فکری در ارگانسیم هایی همچون دانه های محصول و حتی فراهم آوردن این امکان برای مردم جهت ذخیره کردن اطلاعات شخصی در DNA خود می باشد.

منبع: سایت TRN

آدرس: http://trnmag.com/Stories/2003/012903/Data_stored_in_live_cells_012903.html

Data stored in live cells

By Kimberly Patch, Technology Research News

Every type of storage media -- from stone to paper to magnetic disks -- is subject to destruction. From the great fire that destroyed Alexandria's world-class library in 48 B.C. to that unfortunate hard drive crash last week, information has had a habit of suddenly disappearing because the media that contains it succumbs to the forces of nature.

Researchers from Pacific Northwest National Laboratory are tapping forces of nature to store information more permanently.

The researchers used artificial DNA sequences to encode portions of the text of the children's song *It's a Small World*, added the sequences to bacteria DNA, allowed the bacteria to multiply, then extracted the message part of a DNA strand and retrieved the encoded information.

Because DNA is passed down through generations of living organisms, information stored this way should survive for as long as the line of organisms survives, said Pak Wong, a chief scientist at the Pacific Northwest National Laboratory. DNA is made up of four bases attached to a sugar-phosphate backbone. Different sequences of the four bases can represent digital information.

Storing information is DNA's natural function, said Wong. "We [are] taking advantage of a time-tested, natural, nanoscale data storage technology perfected over the last 3 billion years." The encoding method could be used to store any digital information, he said. "Text, pictures, music -- anything you can send or receive over the Web could be saved in this form."

DNA stores a large amount of information in a very small space. Considering that a milliliter of liquid can contain up to 10 billion bacteria, the potential capacity of bacterial-based DNA memory is enormous, assuming that the data can be retrieved in an organized way, according to Wong.

One challenge to storing information in living DNA is that it naturally mutates, changing the information. Information stored using the researchers' method is subject to mutation, but embedding the information in the DNA of an organism that can survive harsh environments cuts down on potential errors, said Wong.

Wong's lab is also carrying out projects that involve genetically engineering hearty *Deinococcus radiodurans* bacteria "for bioremediation in a radioactive environment," said Wong. "The bacterium's extreme resistance to environmental insults gave us the idea of selecting it as data storage," he said.

This radiation-resistant bacteria could be used to preserve data in the event of nuclear attack or accident, according to Wong.

Organisms succumb to radiation because the radiation causes so many mutations that the organisms life processes do not work correctly. An organism that is resistant to radiation damage would by definition be resistant to mutation. "By carefully choosing the host organism and the data encoding method, the error rate caused by mutation is very low," Wong said.

In a related development, scientists from the Weizmann Institute of Science in Israel, the National Institutes of Health, and the Uniformed Services University of the Health Sciences have found a clue to the mystery of how this particular bacteria can survive high doses of radiation. The bacteria's DNA forms tightly packed rings so that when radiation slices the

DNA, the pieces stay in place and the DNA mends in the correct order.

The data storage method could also produce many copies of the data, and these could be compared in order to correct the errors that do occur, said Wong. "There is very high redundancy in the message since there is a copy in each bacterial cell and there may be millions of cells in a needle-size bacterial colony," he said.

The researchers embedded DNA containing information into a circular DNA molecule capable of self-replicating within a bacterial host. They introduced the circular DNA molecules into the bacteria using high-voltage shocks. The DNA was then incorporated into the genome of the bacteria for long-term information storage.

The researchers let the bacteria propagate for 100 generations, then retrieved the encoded information by extracting the message part of the DNA strand from the youngest generation and reading it via polymerase chain reaction, a laboratory procedure that took about two hours and involved a series of heating and cooling cycles.

The researchers used seven different bacteria to store and retrieve seven DNA fragments that ranged from 57 to 99 base pairs long and encoded text from the children's song, according to Wong. One of the segments was the text "and the oceans are wide."

Showing that it's possible to store and retrieve information using the DNA of a living organism is a step toward a new data storage medium, according to Wong.

The next step is devising a way to retrieve the information quickly enough to make the method useful. "The technical challenge will be to develop high throughput of retrieving the information already stored in the bacteria," said Wong. The researchers are currently working on an idea toward that end, he said.

Although the idea of storing information in DNA is not new, the research has merit, said Lila Kari, an associate professor of computer science at the University of Western Ontario in Canada. "DNA can accomplish astounding information density... in principle it is a worthwhile endeavor," she said.

In an experiment published in 1999, researchers from Mount Sinai School of Medicine encoded information in a strand of DNA, included the DNA in a printed period in a document, then recovered the embedded message after sending the document through the U.S. mail.

The Pacific Northwest National Laboratory researchers' experiments have moved the concept of DNA as a storage medium in a different direction by storing information-containing DNA in a living organism.

There are some potential problems with some of the researchers' projections, however, Kari said. "They say that the memory capacity would be huge because each bacteria in a colony could encode different information; it is very difficult to select a single bacteria from a colony," she said.

It's too early to tell when the method could be used to store data in a practical way, said Wong. "Being able to apply the technology practically involves not only technological advancements but also... social and environmental issues, which have not been addressed," he said.

The ultimate goal of the research "is to use living organisms to store and retrieve significant amounts of data quickly," said Wong. Living organisms, including weeds and cockroaches, that have survived on Earth now the first number is for hundreds of millions of years are good candidates for protecting critical information for future generations, according to Wong.

Other potential applications include DNA watermarking to protect intellectual property rights to organisms like crop seeds, and even allowing people to store personal information within their own DNA, according to Wong.

Wong's research colleagues were Kwong-kwok Wong and Harlan Foote. They published the research in the January, 2003 issue of Communications of the ACM. The research was funded by the Pacific Northwest National Laboratory.

Timeline: Unknown

Funding: Government

TRN Categories: Biotechnology; Biological, Chemical, DNA and Molecular Computing; Data Storage Technology

Story Type: News

Related Elements: Technical paper, "Organic Data Memory Using the DNA Approach," Communications of the ACM, January, 2003; technical paper "Ringlike Structure of the Deinococcus radiodurans Genome: A Key to Radioresistance?", Science, January 10, 2003.