

*Bild von Pete Linforth auf Pixabay*

USA: Präsident Trump legt den Grundstein für das Quanten-Internet

In den 1960er Jahren finanzierte die US-Regierung eine Reihe von Experimenten zur Entwicklung von Techniken zur Übertragung von Informationen von einem Computer zum anderen. Geräte in einzelnen Labors konnten verbunden werden, dann wurden benachbarte Labors miteinander verbunden. Bald war das Netzwerk zwischen Forschungseinrichtungen im ganzen Land entstanden und hatte die Wurzeln dessen gelegt, was das Internet werden sollte. Die Art und Weise, wie Menschen Informationen nutzen, wurde für immer verändert. Jetzt, 60 Jahre später, ist es das Ziel des Energieministeriums, es wieder zu tun.

Der Haushaltsantrag 2021 der Trump-Administration – der gegenwärtig vom Kongress geprüft wird – schlägt eine Kürzung der Gesamtfinanzierung für wissenschaftliche Forschung um fast 10% vor, erhöht jedoch die Ausgaben für die Quanteninformationswissenschaft um etwa 20% auf 237 Millionen Dollar. Davon hat das DOE 25 Millionen Dollar beantragt, um die Entwicklung eines Quanteninternets zu beschleunigen. Ein solches Netzwerk würde das kontraintuitive Verhalten der Naturpartikel nutzen, um Informationen auf völlig neue Weise zu beeinflussen und auszutauschen, mit dem Potenzial, Bereiche wie Cybersicherheit und Materialwissenschaft neu zu erfinden.

Während das traditionelle Internet für die allgemeine Nutzung nirgendwohin führt, würde ein Quantennetz für bestimmte Anwendungen entscheidende Vorteile bieten: Forscher könnten es z.B. zur Entwicklung von Medikamenten und Materialien nutzen, indem sie atomares Verhalten auf vernetzten Quantencomputern simulieren, und Finanzinstitutionen und Regierungen würden von der Cybersicherheit auf höherer Stufe profitieren. Viele Länder verfolgen Quantenforschungsprogramme, und mit dem Haushaltsvorschlag 2021 will die Trump-Administration diese Bemühungen noch verstärken.

„Die Höhe der Finanzierung wird es uns ermöglichen, mit der Entwicklung der Grundlagen für anspruchsvolle, praktische und wirkungsvolle Quantennetzwerke zu beginnen“, sagt David Awschalom, ein Quanteningenieur an der Universität von Chicago. „Das ist bedeutend und extrem wichtig.“

Ein Quanten-Internet wird sich in Etappen entwickeln, ähnlich wie es das traditionelle Internet tat und weiterhin tut. China hat bereits eine frühe Anwendung, die Quantenverschlüsselung, zwischen bestimmten Städten realisiert, aber vollständige Quantennetze, die sich über ganze Länder erstrecken, werden nach Ansicht von Experten Jahrzehnte benötigen. Um sie aufzubauen, wird es notwendig sein, das Quantenäquivalent von Routern, Festplatten und Computern von Grund auf neu zu konstruieren – eine grundlegende Arbeit, die bereits heute im Gange ist.

Die Wissenschaft hinter einem Quanten-Internet

Wo der moderne Internetverkehr in Bits zwischen klassischen Computern (eine Kategorie, die heute Smartphones, Tablets, Lautsprecher und Thermostate umfasst) strömt, würde ein Quanten-Internet eine grundlegend andere Informationseinheit tragen, die als Quantenbit oder Qubit bekannt ist.

Alle Bits laufen auf die einfachsten Ereignisse der Natur hinaus – Fragen mit Ja oder Nein als Antwort. Computerchips verarbeiten Katalysatorenbildschirme, indem sie einige elektrische Ströme stoppen und andere fließen lassen. Festplatten speichern Dokumente, indem sie Magnete entweder in der oberen oder unteren Position arretieren.

Qubits stellen eine völlig andere Sprache dar, eine, die auf dem Verhalten von Atomen, Elektronen und anderen Teilchen basiert, also Objekten, die den bizarren Regeln der Quantenmechanik unterliegen. Diese Objekte führen ein fließendes und nicht abschätzbares Leben als ihre Pendants in der klassischen Informatik.

Ein Festplattenmagnet muss z. B. immer nach oben oder unten zeigen, aber die Richtung eines Elektrons ist bis zur Messung nicht bekannt. Genauer gesagt, das Elektron verhält sich so, dass die Beschreibung seiner Orientierung ein komplexeres Konzept – die so genannte Superposition – erfordert, das über die einfachen Bezeichnungen „nach oben“ oder „nach unten“ hinausgeht.

Quantenteilchen können auch in einer als Verschränkung bezeichneten Beziehung aneinandergereiht werden, z.B. wenn zwei Photonen (Lichtteilchen) aus derselben Quelle leuchten. Paare verschränkter Teilchen teilen eine innige Bindung, ähnlich der Beziehung zwischen den beiden Seiten einer Münze – wenn eine Seite Kopf zeigt, zeigt die andere Seite Zahl. Im Gegensatz zu einer Münze können sich verschränkte Teilchen jedoch weit voneinander entfernen und trotzdem ihre Verbindung aufrechterhalten.

Wissenschaftler entwickeln Internet 2.0

Die Quanteninformationswissenschaft vereinigt diese und andere Phänomene und verspricht eine neuartige, reichhaltigere Art der Informationsverarbeitung – analog zum Übergang von 2D- zu 3D-Grafiken oder zum Erlernen des Rechnens mit Dezimalstellen anstelle von ganzen Zahlen. Quantengeräte, die fließend in der Muttersprache der Natur sprechen, könnten beispielsweise die Fähigkeit von Wissenschaftlern, Materialien und Medikamente zu entwerfen, durch die Emulation neuer atomarer Strukturen verstärken, ohne deren Eigenschaften im Labor testen zu müssen.

Verschränkung, ein empfindliches Glied, das durch äußere Eingriffe zerstört wird, könnte garantieren, dass die Verbindungen zwischen den Geräten privat bleiben.

Aber solche Wunder sind noch Jahre oder Jahrzehnte entfernt. Sowohl Überlagerung als auch Verschränkung sind anfällige Zustände, die am leichtesten bei eisigen Temperaturen in Maschinen aufrechterhalten werden können, die perfekt vom Chaos der Außenwelt isoliert sind.

Und während die Quanteninformatiker nach Wegen suchen, ihre Kontrolle über eine größere Anzahl von empfindlichen Teilchen zu erweitern, entwickeln die Quanten-Internetforscher die Technologien, die erforderlich sind, um diese Teilchensammlungen miteinander zu verbinden.

Genau wie in den 1960er Jahren sät das DOE wieder die Samen für ein zukünftiges Netzwerk in seinen nationalen Labors. Unterhalb der Vororte im Westen Chicagos liegen 52 Meilen Glasfaser, die sich in zwei Schleifen vom Argonne National Laboratory aus erstrecken. Anfang dieses Jahres beaufsichtigte Awschalom die ersten erfolgreichen Experimente des Systems.

„Wir erzeugten verschränkte Lichtzustände“, sagt er, „und versuchten, dies als Vehikel zu nutzen, um zu testen, wie die Verschränkung in der realen Welt – nicht in einem Labor – funktioniert, indem wir unter den Mautstraßen von Illinois hindurchgingen.“

Tägliche Temperaturschwankungen führen dazu, dass die Drähte z.B. um Dutzende Meter schrumpfen, was eine sorgfältige Anpassung des Timings der Impulse zur Kompensation erfordert. In diesem Sommer plant das Team, sein Netzwerk um einen weiteren Knoten zu erweitern und das benachbarte Fermi National Accelerator Laboratory in das Quantenfeld zu bringen.

Ähnliche Experimente sind auch an der Ostküste im Gange, wo Forscher verschränkte Photonen über Glasfaserkabel geschickt haben, die das Brookhaven National Laboratory in New York mit der Stony Brook University in einer Entfernung von etwa 11 Meilen verbinden. Brookhaven-Wissenschaftler testen auch die drahtlose Übertragung verschränkter Photonen über eine ähnliche Entfernung durch die Luft.

Obwohl diese Technik Schönwetter erfordert, könnte sie nach Ansicht von Kerstin Kleese van Dam, der Direktorin der Brookhaven-Initiative für rechnergestützte Wissenschaft, eines Tages Netzwerke von Glasfaserkabeln ergänzen. „Wir wollen uns einfach unsere Optionen offen halten“, sagt sie.

Ein solches Senden und Empfangen verschränkter Photonen stellt das Äquivalent zu Quantenroutern dar, aber als nächstes benötigen die Forscher eine Quantenfestplatte – eine Möglichkeit, die Informationen, die sie austauschen, zu speichern. „Was wir vorhaben“, sagt Kleese van Dam, „sind verschränkte Erinnerungen über Kilometer hinweg“.

Wenn Photonen Informationen aus dem Netzwerk nach innen tragen, speichert der Quantenspeicher diese Qubits in Form von verschränkten Atomen, ähnlich wie heutige Festplatten umgedrehte Magnete verwenden, um Bits zu halten. Awschalom geht davon aus, dass die Argonne- und die University of Chicago-Gruppe in diesem Sommer über funktionierende Quantenspeicher verfügen werden, etwa zur gleichen Zeit, in der sie ihr Netzwerk auf entfernte Labore ausdehnen, dann wird es sich über 100 Meilen erstrecken.

Aber das ist ungefähr so weit, wie das Licht reisen kann, bevor es zu schwach zum Lesen wird. Bevor sie ihre Netzwerke noch weiter ausdehnen können, müssen die Forscher einen Quanten-Repeater erfinden – ein Gerät, das ein verkümmertes Signal für eine weitere Reise von 100 Meilen verstärkt. Klassische Internet-Repeater kopieren einfach die Information und senden einen neuen Lichtimpuls aus, aber dieser Prozess bricht die Verschränkung auf (eine Funktion, die die Quantenkommunikation vor Abhörern sicher macht). Stattdessen, so Awschalom, haben sich Forscher ein Schema ausgedacht, um das Quantensignal zu verstärken, indem es in andere Formen gemischt wird, ohne es jemals direkt zu lesen. „Wir haben derzeit einige Prototypen von Quanten-Repeater laufen. Sie sind noch nicht gut genug“, sagt er, „aber wir lernen eine Menge dazu.“

Und wenn der Kongress die Förderung der Quanteninformationswissenschaft im Haushalt 2021 bewilligt, werden Forscher wie Awschalom und Kleese van Dam noch viel mehr lernen. Zusätzliche Mittel für ihre Experimente könnten den Grundstein dafür legen, eines Tages ihre lokalen Verbindungen zu einem landesweiten Netzwerk auszubauen. „Es gibt eine langfristige Vision, alle nationalen Laboratorien von Küste zu Küste zu verbinden“, sagt Paul Dabbar, der Unterstaatssekretär für Wissenschaft des DOE.

Chinas Führung in der Quantenvernetzung

In gewissem Sinne sind die USA anderen Ländern in der Quantenvernetzung auf den Fersen. China hat zum Beispiel einen 1.200 Meilen lange Grundnetzverbindung zwischen Peking und Schanghai fertiggestellt, den Banken und andere Unternehmen bereits für eine nahezu vollkommen sichere Verschlüsselung nutzen. Aber das Rennen um ein voll funktionsfähiges Quanten-Internet ist eher ein Marathon als ein Sprint, und China hat nur den ersten Meilenstein überschritten.

Kleese van Dam weist darauf hin, dass dieses Netzwerk ohne Quanten-Repeater auf ein paar Dutzend „vertrauenswürdiger“ Knoten angewiesen ist – Achillesfersen, die den Quantenzauber vorübergehend unterbrechen, während die Qubits durch bitbasierte Engpässe geschoben werden. Sie wartet auf eine wirklich sichere Ende-zu-Ende-Kommunikation. „Was wir vorhaben, geht weit über das hinaus, was China tut“, sagt sie.

Die Forscher stellen sich letztlich ein ganzes Quanten-Ökosystem aus Computern, Speichern und Repeatern vor, die alle dieselbe Sprache der Überlagerung und Verschränkung sprechen, und sich gegenseitig vervollkommen. „Es ist wie ein großer Eintopf, bei dem alles quantenmechanisch gehalten werden muss“, sagt Awschalom. „Man will gar nicht in die klassische Welt gehen.“

Nach unmittelbaren Anwendungen wie unknackbaren Verschlüsselungen spekuliert er, dass ein solches Netzwerk auch zu seismischen Sensoren führen könnte, die in der Lage sind, die Schwingungen des Planeten auf atomarer Ebene zu erfassen. Er sagt aber, dass die größten Konsequenzen wahrscheinlich diejenigen sein werden, die niemand kommen sieht. Er vergleicht den aktuellen Stand des Feldes mit der Zeit, als Elektroingenieure die ersten Transistoren entwickelten und sie zunächst zur Verbesserung von Hörgeräten einsetzten, völlig ahnungslos, dass sie einen Weg einschlugen, der eines Tages soziale Medien und Videokonferenzen bringen würde.

Während Forscher in Brookhaven, Argonne und vielen anderen Institutionen an dem Quantenäquivalent von Transistoren herumbasteln, kommen sie nicht umhin, sich zu fragen, was das Quantenanalogon des Video-Chats sein wird. „Es ist klar, dass es viel versprechend ist. Es wird sich schnell entwickeln“, sagt Awschalom. „Aber das Spannendste daran ist, dass wir nicht genau wissen, wohin es gehen wird.“