



Optimale Kodierungsstrategie in der optischen Nachrichtenübertragung

Optimale Kodierungsstrategie in der optischen Nachrichtenübertragung Ohne optische Glasfaserverbindungen wäre der hohe Datentransfer im Internet, der für unsere Informationsgesellschaft so entscheidend ist, nicht denkbar. Wann immer ein Knoten im Internet eine Information, d.h. eine Folge digitaler Bits, aussendet, kodiert er sie in Form von Lichtpulsen. Nach dem Transport durch einen Lichtleiter erreichen die Lichtpulse eine Empfängerstation, welche die Pulse wieder in die ursprüngliche Folge von Bits umwandelt. Die steigende Nachfrage nach immer höheren Datenraten wirft die Frage auf, wo die fundamentalen physikalischen Grenzen für die Informationsübertragung über optische Verbindungen liegen. Raul García-Patrón, ein ehemaliges Mitglied der Abteilung Theorie von Professor Ignacio Cirac am Max-Planck-Institut für Quantenoptik hat diese Frage nun beantwortet (Nature Photonics, 21 September 2014), zusammen mit Wissenschaftlern aus Pisa, Brüssel und Moskau. Er schloss mit dieser Arbeit sein Forschungsprogramm am MPQ ab, an dem er als Stipendiat der Alexander von Humboldt-Stiftung von 2011 bis 2013 arbeitete. Seit den bahnbrechenden Arbeiten von Albert Einstein wissen wir, dass Licht auf kleinster Skala aus Quantenteilchen, den sogenannten Photonen, besteht. Bei der Beantwortung der Frage, wo die ultimative Kapazitätsgrenze in der optischen Datenkommunikation liegt, muss man daher auch die Quantennatur des Lichtes berücksichtigen. Das Problem wurde bereits Anfang der 60er Jahre diskutiert, als der Laser erfunden und eine moderne Theorie des Lichts formuliert war. Doch erst Ende der 90er Jahre, zur Geburtsstunde der Quanteninformationstheorie, entwickelte Prof. Alexander Holevo (Mitautor der hier zitierten Arbeiten) die für die Beantwortung dieser Frage erforderlichen Werkzeuge. Nachfolgende Arbeiten kamen zu dem Schluss, dass es für die Optimierung der optischen Kommunikation nicht notwendig ist, hochkomplexe Quantenzustände zu erzeugen, sondern sich optimale Datenraten auch mit einfachen Laserpulsen erreichen ließen. Doch blieb der Beweis dafür lange Zeit aus. Schon in einer früheren Arbeit im Jahr 2012 (Phys. Rev. Lett. 108, 110505, 2012) hatte Raul García-Patrón (damals in der Abteilung Theorie am MPQ), in Zusammenarbeit mit Carlos Navarrete-Benlloch (derzeit Abteilung Theorie am MPQ) und anderen Wissenschaftlern von der Université Libre de Bruxelles und dem Massachusetts Institute of Technology, gezeigt, dass jeder realistische optische Kommunikationskanal modelliert werden kann durch einen idealen Abschwächungskanal, auf den ein idealer Verstärkungsprozess folgt. Die ursprüngliche Überlegung zu einer optimalen Kodierungsstrategie kann damit auf die Frage reduziert werden: Was ist die minimale Störung, bzw. Entropie, die einem Eingangssignal durch den am häufigsten untersuchten quantenoptischen Prozess, die optische parametrische Verstärkung, zugefügt wird? "Entropie ist ein Maß für Unordnung. Die minimale Entropie des Ausgangssignals eines Kanals gibt an, wie stark der Kanal den ursprünglich abgeschickten Eingangszustand verfälscht," erklärt Dr. García-Patrón. "Die höchste erzielbare Bit-Rate wird durch eine Funktion beschrieben, die durch die Minimierung der Ausgangsentropie des Kanals optimiert wird. Intuitiv gesagt heißt das, man will die Störung minimieren, die der Kanal dem Eingangssignal zufügt." Jetzt hat das Wissenschaftlerteam eindeutig bewiesen, dass minimale Ausgangsentropie und ultimative Kapazität eines optischen Kommunikationskanals erreicht werden können, indem die Informationen mit Gauss-förmigen Lichtpulsen kodiert werden. Die Wissenschaftler fanden diese Lösung für das seit langem offene Problem, indem sie zwar den schon in der vorherigen Arbeit (siehe oben) vorgeschlagenen Wegen folgten, aber bestimmte Eigenschaften der Verstärker-Kanäle auf neuartige Weise nutzten. "Gauss'sche" Kommunikationskanäle, die die Gauss-Förmigkeit des Signals bewahren, sind auch die natürlichen Modelle für optische Verbindungen wie Glasfasern oder Verstärker. Der neue Lösungsansatz könnte auch in anderen physikalischen Bereichen eine Rolle spielen, da viele Systeme mathematisch mit bosonischen Gauss'schen Zuständen und Kanälen modelliert werden. Dazu zählen die Thermodynamik bosonischer Systeme, das Phänomen der Verschränkung in der Theorie der Hawking-Strahlung Schwarzer Löcher, oder auch supraleitende Systeme. Doch ein paar Fragen bleiben bislang unbeantwortet: "Wir haben nachgewiesen, dass man mit einfachen Quantenzuständen optimale Kodierung erreichen kann. Aber wir wissen noch nicht, ob das auch für die Dekodierung der Information gilt", führt García-Patrón aus. "Unser Ergebnis ist lediglich ein Existenzbeweis: wir wissen, dass es einen Detektor gibt, der die von uns berechnete Bit-Rate erreichen kann. Aber wir müssen noch eine Methode für die optimale Dekodierung finden, die auch realistisch implementiert werden kann. Ein einfaches und effizientes Verfahren der Dekodierung könnte in Zukunft auch helfen, Signale zu registrieren, die am Detektor sehr stark abgeschwächt ankommen, was z.B. bei Weltraumexperimenten der Fall ist." R. García-Patrón/O. Meyer-Streng
Originalveröffentlichung: V. Giovannetti, R. Garcia-Patrón, N. J. Cerf and A. S. Holevo Ultimate classical communication rates of quantum optical channels by solving the Gaussian minimum-entropy conjecture Nature Photonics, Advance Online Publication, 21 September 2014
Kontakt: Dr. Raul Garcia-Patrón BELSPO postdoctoral fellow QuIC - Ecole Polytechnique de Bruxelles Université Libre de Bruxelles 50 av. F. D. Roosevelt - CP 165/59 B-1050 Brüssel, Belgium Telefon: +32 2 650 -2820 / Fax: -2941 E-Mail: rgarciap@ulb.ac.be http://quic.ulb.ac.be/members/rgarciap Prof. Dr. Ignacio Cirac Honorarprofessor, TU München Max-Planck-Institut für Quantenoptik Hans-Kopfermann-Straße 1, 85748 Garching Telefon: +49 (0)89 32 905 -705/-736 / Fax: -336 E-Mail: ignacio.cirac@mpq.mpg.de www.mpq.mpg.de/cirac Dr. Olivia Meyer-Streng Presse- und Öffentlichkeitsarbeit Max-Planck-Institut für Quantenoptik, Garching b. München Telefon: +49 (0)89 32 905 -213 E-Mail: olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de  http://www.pressrelations.de/new/pmcounter.cfm?n_pिनr_=576134 width="1" height="1">

Pressekontakt

Max-Planck-Institut für Quantenoptik

85748 Garching

olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Firmenkontakt

Max-Planck-Institut für Quantenoptik

85748 Garching

olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de

Im Fokus der wissenschaftlichen Aktivitäten des Max-Planck-Instituts für Quantenoptik steht die Wechselwirkung von Licht und Materie unter extremen Bedingungen. Dabei ist ein Schwerpunkt die hochpräzise Messung der Spektrallinien des Wasserstoffatoms. Hierfür wurde die Frequenzkammtechnik

entwickelt, für die Prof. T.W. Hänsch 2005 den Nobelpreis für Physik erhielt. Andere Experimente zielen darauf, einzelne Photonen und einzelne Atome einzufangen und ihre Wechselwirkung miteinander zu kontrollieren und legen damit den Grundstein für zukünftige Quantencomputer. Gleichzeitig entwickeln Theoretiker am MPQ Konzepte, die auf Quantenbits gespeicherten Informationen möglichst effektiv zu übertragen. Mit den dabei entwickelten Algorithmen lassen sich geheime Nachrichten sicher verschlüsseln. Ferner werden am MPQ die bizarren Eigenschaften untersucht, die quantenmechanische Vielteilchensysteme bei extrem tiefen Temperaturen (etwa ein Millionstel Kelvin über dem absoluten Nullpunkt) annehmen können. Und schließlich werden Lichtblitze mit der unvorstellbar kurzen Dauer von einigen hundert Attosekunden (ein Milliardstel von einer Milliardstel Sekunde) erzeugt, die es z. B. ermöglichen, quantenmechanische Prozesse wie das Tunneln von Elektronen oder atomare Übergänge in Echtzeit zu beobachten.