جامعة بنغازي
كلية تقنية المعلومات · قسم الشبكات والاتصالات



عرض تقديمي أكاديمي

بروتوكول QUIC

إعادة تصميم طبقة النقل في الإنترنت الحديث

دراسة في البنية والآليات والأداء والتحديات

إعداد
[illegible]
رقم القيد
[illegible]
إشراف
[illegible]

العام الجامعي
2026 – 2027

محاور العرض

المحتويات

01 **المقدمة والإشكالية**
قيود منظومة TCP/TLS أمام متطلبات الويب الحديث

02 **الأهداف والمنهجية**
ما تسعى إليه الدراسة وكيف بُنيت

03 **النشأة والتطور**
من تجربة داخلية في Google إلى معيار IETF

04 **البنية**
موقع QUIC في مكدّس البروتوكولات

05 **الآليات الجوهرية**
المصافحة، التدفّقات، ترحيل الاتصال، التشفير

06 **الأداء والانتشار**
نتائج القياس وبيانات الاستخدام الحالية

07 **التحديات والآفاق**
القيود التقنية واتجاهات التطوير

08 **الخلاصة والتوصيات**
النتائج الرئيسة وما يُقترح بناءً عليها

طبقة النقل ودورها في أداء الويب

تتولّى طبقة النقل إيصال البيانات بين التطبيقات من طرفٍ إلى طرف. واعتمد الويب لعقود على بروتوكول TCP مقترنًا بـ TLS لتأمين الاتصال، وهي منظومة صُمّمت لإنترنت يختلف كثيرًا عن إنترنت اليوم.

TCP

بروتوكول التحكم بالإرسال

موجَّه بالاتصال؛ يضمن وصول البيانات كاملة ومرتّبة.

RFC 793 · 1981

UDP

بروتوكول مخطّط بيانات المستخدم

بلا اتصال وخفيف؛ لا يضمن التسليم ولا الترتيب.

RFC 768 · 1980

متطلبات الويب الحديث

زمن استجابة منخفض

كل رحلة ذهاب وإياب إضافية تُضاف مباشرة إلى زمن تحميل الصفحة.

تنقّل مستمر

تنتقل الأجهزة المحمولة بين شبكات Wi-Fi والشبكات الخلوية أثناء الاتصال.

تشفير شامل

تجاوزت حصة HTTPS نسبة 95% من طلبات الويب عام 2025.

المصادر: Postel (1980, 1981); Cloudflare (2025)

إشكالية البحث: أربعة قيود بنيوية في منظومة TCP/TLS

01 تأخّر المصافحة
Handshake Delay

يستلزم إنشاء اتصال آمن رحلتين ذهابًا وإيابًا على الأقل قبل إرسال أول طلب.

02 انسداد رأس الطابور
Head-of-Line Blocking

فقدان حزمة واحدة يوقف تسليم جميع البيانات اللاحقة، حتى التابعة لطلبات مستقلة.

03 تحجّر البروتوكول
Protocol Ossification

تعتمد الأجهزة الوسيطة كالجدران النارية على حقول ترويسة TCP، فتعيق أي تعديل عليها.

04 التجذّر في نواة النظام
Implementation Entrenchment

تنفيذ TCP داخل نواة نظام التشغيل يجعل تحديثه بطيئًا ومرهونًا بتحديث الأنظمة.

سؤال البحث

كيف يمكن خفض زمن الاستجابة وتحسين مرونة النقل دون المساس بالبنية التحتية القائمة للإنترنت؟

المصدر: Langley et al. (2017)

أهداف الدراسة ومنهجيتها

أهداف الدراسة

01 تحليل الدوافع التقنية لتصميم QUIC.

02 شرح آلياته الجوهرية ومقارنتها بمنظومة TCP/TLS.

03 استعراض الأدلة التجريبية على أدائه وانتشاره.

04 تحديد قيوده الحالية واتجاهات تطويره.

منهجية الدراسة

منهج وصفي تحليلي يستند إلى ثلاثة أنواع من المصادر:

أ — المواصفات القياسية

RFC 9000 · RFC 9001 · RFC 9002 · RFC 9114

ب — الدراسات المحكّمة

ACM Web Conference 2024 · ACM SIGCOMM 2017

ج — بيانات القياس واسعة النطاق

Cloudflare Radar · W3Techs

من تجربة داخلية إلى معيار دولي

مرحلة gQUIC في Google — مرحلة التوحيد القياسي في IETF

2012 — المسودة الأولى
وثيقة تصميم كتبها Jim Roskind في Google

2013 — الإعلان والتجربة
اختبار أولي على نسبة صغيرة من حركة Chrome

2016 — مجموعة عمل IETF
بدء التوحيد القياسي في أكتوبر

2017 — نحو 7% من الحركة
حصة QUIC من حركة الإنترنت وفق Google

2021 — RFC 9000
الإصدار القياسي الأول مع RFC 8999–9002 (مايو)

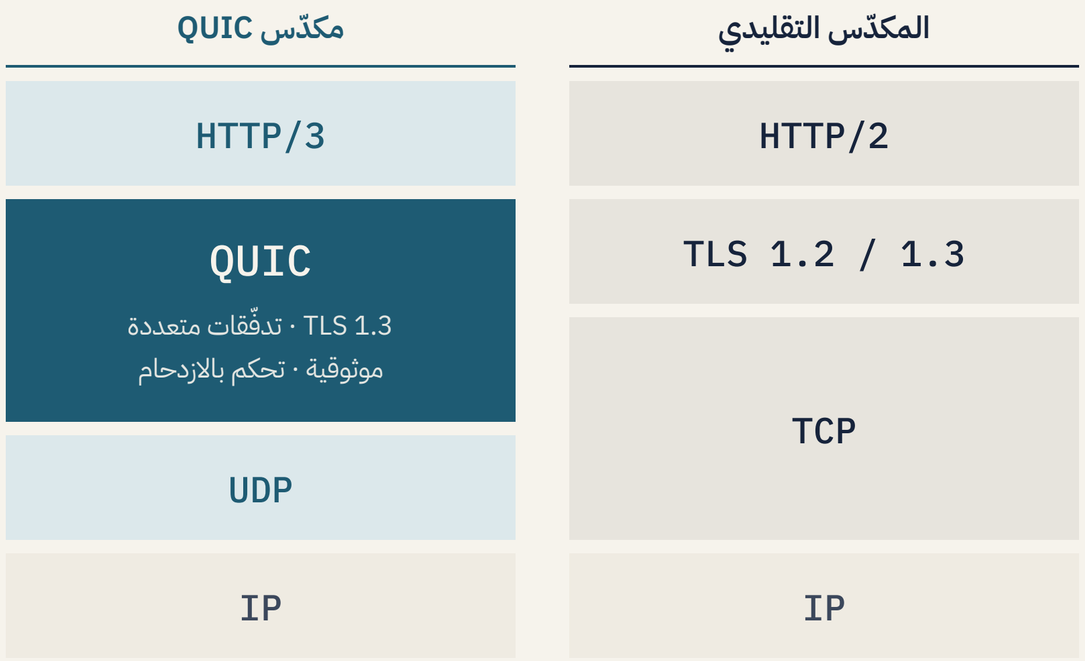
2022 — RFC 9114
اعتماد HTTP/3 فوق QUIC (يونيو)

2023 — RFC 9369
الإصدار الثاني QUIC v2 (مايو)

2026 — RFC 10069
QUIC متعدد المسارات (نوفمبر)

المصادر: Roskind (2012); Chromium Blog (2013); Langley et al. (2017); RFC 9000, 9114, 9369, 10069

موقع QUIC في مكدّس البروتوكولات



01 دمج النقل والأمان

تُنفَّذ مصافحة TLS 1.3 داخل QUIC نفسه، فلا تُضاف طبقة أمان مستقلة فوق النقل.

02 البناء فوق UDP

يعبر QUIC الأجهزة الوسيطة القائمة لأنها تتعامل معه بوصفه حركة UDP مألوفة.

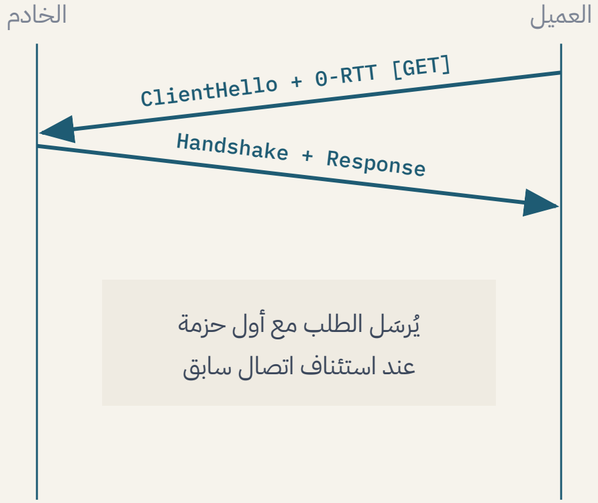
03 التنفيذ في فضاء المستخدم

يُنفَّذ ضمن التطبيق لا في نواة النظام (User Space)، فيُحدَّث بسرعة دون انتظار تحديث أنظمة التشغيل.

المصادر: Langley et al. (2017); Thomson & Turner (2021), RFC 9001

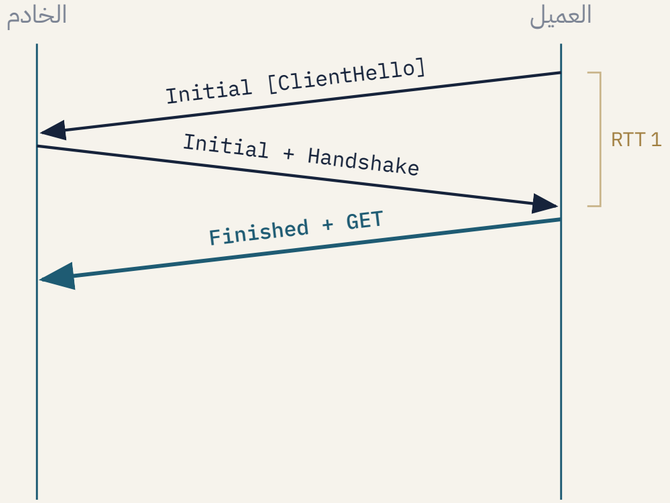
تقليص زمن المصافحة: من رحلتين إلى رحلة واحدة أو أقل

QUIC · 0-RTT



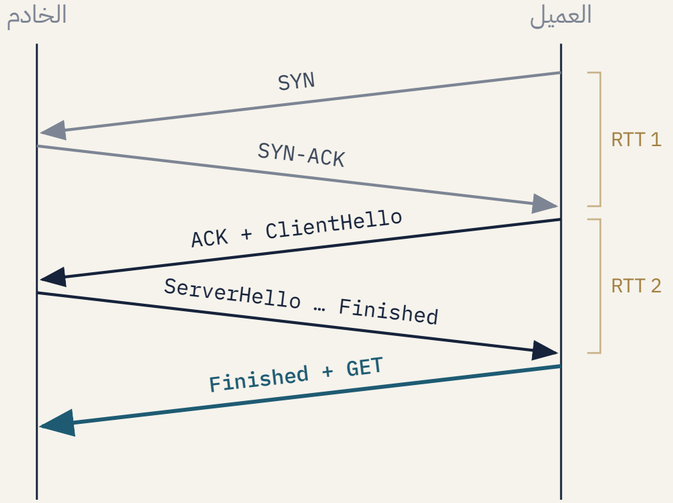
0 RTT

QUIC · 1-RTT



1 RTT

TCP + TLS 1.3



2 RTT

مثال عند زمن رحلة `100 ms`، يبدأ أول طلب بعد: `200 ms` TCP + TLS · `100 ms` QUIC · `0 ms` 0-RTT

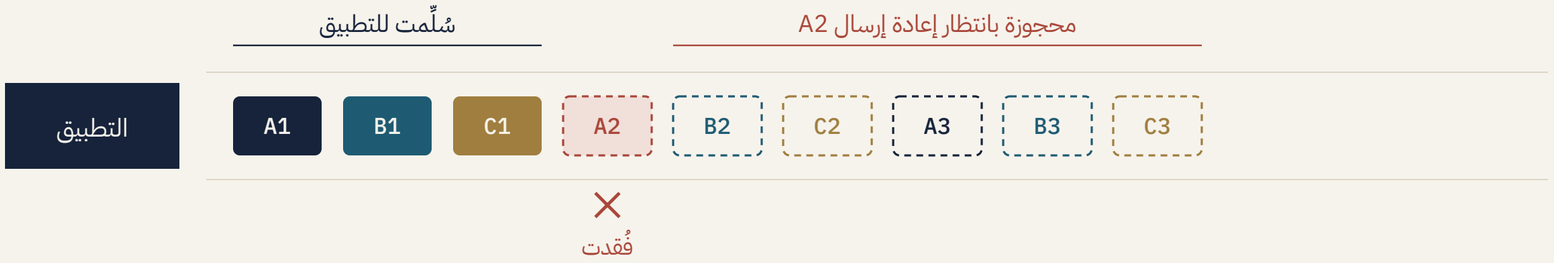
أول طلب بيانات — رسائل التشفير — رسائل النقل

المصادر: Iyengar & Thomson (2021), RFC 9000; Thomson & Turner (2021), RFC 9001

تدفّقات مستقلة تُنهي انسداد رأس الطابور

TCP · تدفّق واحد مرتّب

تُرسَل طلبات A وB وC في تيار بايتات واحد؛ ففقدان A2 يحجز كل ما بعده.



QUIC · تدفّقات مستقلة

لكل طلب تدفّقه الخاص؛ فالفقد يؤخّر تدفّق A وحده، وتُسلَّم B وC كاملة.



سُلِّمت — بالانتظار — فُقدت

النتيجة: يبقى أثر فقد الحزمة محصورًا في تدفّقها، بدل أن يمتدّ إلى الاتصال كله.

المصادر: Iyengar & Thomson (2021), RFC 9000; Langley et al. (2017)

ترحيل الاتصال بين الشبكات دون انقطاع

TCP · الاتصال مرتبط بالعنوان

يُعرَّف الاتصال بمجموعة رباعية (4-tuple):

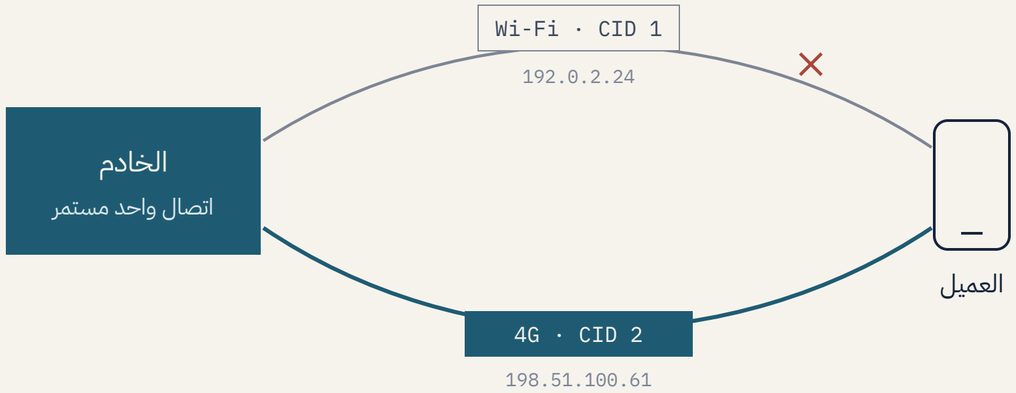
منفذ الوجهة	عنوان الوجهة	منفذ المصدر	عنوان المصدر
443	203.0.113.7	51834	192.0.2.24

01 ينتقل الجهاز من Wi-Fi إلى الشبكة الخلوية فيتغيّر عنوان المصدر.

02 لا تعود الحزم الجديدة مطابقة للمجموعة الرباعية المسجّلة.

03 **ينقطع الاتصال، ويلزم إنشاء اتصال ومصافحة جديدين.**

QUIC · الاتصال مرتبط بمعرّفات مستقلة



01 يرسل العميل من العنوان الجديد بمعرّف اتصال جديد أصدره الخادم مسبقًا.

02 يُتحقَّق من المسار الجديد عبر PATH_CHALLENGE / PATH_RESPONSE.

03 **يستمر الاتصال نفسه دون مصافحة جديدة.**

المصدر: Iyengar & Thomson (2021), RFC 9000, §9 · في الإصدار الأول يبدأ العميلُ وحده الترحيلَ.

التشفير جزءٌ من التصميم لا إضافةٌ إليه

مقطع TCP مع TLS

Src Port	Dst Port	Sequence No.	Ack No.	Flags	Window	TLS record · encrypted payload

الترويسة كاملة مكشوفة للأجهزة الوسيطة

حزمة QUIC (ترويسة قصيرة)

Flags	Destination Connection ID	Packet No.	Frames · AEAD-encrypted payload

مكشوف — محمي بحماية الترويسة — مشفّر

TLS 1.3 مدمج

تجري المصافحة التشفيرية داخل QUIC، ويتولّى هو حماية الحزم كاملة.

حدّ أدنى من الحقول المكشوفة

لا يظهر على الشبكة إلا ما يلزم لتوجيه الحزمة، كمعرّف الاتصال.

مقاومة التحجّر

تعذّر اعتماد الأجهزة الوسيطة على الحقول يحفظ قابلية التطوير؛ وصدر QUIC v2 لتمرين آلية الإصدارات.

المصادر: RFC 9000; Thomson & Turner (2021), RFC 9001; Duke (2023), RFC 9369

الأدلة التجريبية من النشر واسع النطاق

8.0%

انخفاض زمن استجابة بحث Google لمستخدمي سطح المكتب

3.6% لمستخدمي الهاتف المحمول

18.0%

انخفاض معدل توقّف فيديو YouTube لإعادة التخزين المؤقت

15.3% على الهاتف المحمول

≈7%

حصة QUIC من إجمالي حركة الإنترنت عام 2017

نحو 35% من الحركة الصادرة عن خوادم Google

المنهج تجارب A/B على مستخدمين حقيقيين عبر متصفح Chrome وتطبيق YouTube، بمقارنة QUIC بمنظومة TCP/TLS.

حدود التعميم تمثّل النتائج مرحلة gQUIC السابقة للتوحيد القياسي، وتتفاوت المكاسب بحسب ظروف الشبكة.

المصدر: Langley et al. (2017), ACM SIGCOMM

الانتشار الحالي: دعمٌ واسع واستخدامٌ أقل

الدعم من جهة المواقع

41.2%

من مواقع الويب تتيح HTTP/3

W3Techs · نوفمبر 2026

الاستخدام الفعلي: توزيع طلبات الويب حسب الإصدار · Cloudflare Radar 2025



HTTP/1.x	HTTP/2	HTTP/3
فوق TCP	فوق TCP	فوق QUIC

قراءة في الفجوة

يقيس المؤشّران أمرين مختلفين: نسبة المواقع التي تتيح البروتوكول، ونسبة الطلبات التي استخدمته فعلًا. فدعم الخادم لا يضمن استخدامه في كل اتصال؛ إذ يتوقّف ذلك أيضًا على العميل والشبكة، ومنه الرجوع إلى TCP عند تعذّر UDP.

المصادر: W3Techs (2026); Cloudflare (2025); Kühlewind & Trammell (2022a), RFC 9308

التحديات والقيود

	التحدي	الوصف	المصدر
01	**عبء المعالجة على الشبكات عالية السرعة**	على روابط تبلغ نحو 1 Gbps، انخفض معدل نقل البيانات بنسبة تصل إلى 45.2% مقارنة بـ HTTP/2، بسبب عبء المعالجة في جهة المستقبِل.	Zhang et al. (2024)
02	**حجب UDP أو تقييده**	تحجب بعض الشبكات حركة UDP أو تقيّدها، فيلزم توفير آلية رجوع إلى TCP قد تُضعف الأداء.	RFC 9308, §2
03	**مخاطر بيانات 0-RTT**	بيانات 0-RTT عرضة لهجمات إعادة الإرسال (Replay)، فتُقصر على الطلبات التي لا يغيّر تكرارها النتيجة.	RFC 9001, §9.2
04	**محدودية الرؤية التشغيلية**	تشفير معظم الترويسة يحدّ مما يرصده مشغّلو الشبكات لأغراض القياس واستكشاف الأعطال.	RFC 9312

اتجاهات التطوير المستقبلية

RFC 10069 · Nov 2026

QUIC متعدد المسارات

Multipath QUIC

إدارة أكثر من مسار شبكي للاتصال الواحد، كاستخدام Wi-Fi والشبكة الخلوية معًا لرفع الموثوقية والسعة.



RFC 9221 · Mar 2022

مخطّطات البيانات غير الموثوقة

QUIC Datagrams

إرسال بيانات لا تحتاج إلى إعادة إرسال، كالوسائط الآنية، وبناء أنفاق شبكية كالشبكات الافتراضية الخاصة (VPN) فوق QUIC.



RFC 9369 · May 2023

قابلية التطوير المستمر

QUIC Version 2

إصدار ثانٍ مطابق وظيفيًا للأول، غايته تمرين آلية التفاوض على الإصدارات ومنع تحجّر البروتوكول.



المصادر: Liu et al. (2026), RFC 10069; Pauly et al. (2022), RFC 9221; Duke (2023), RFC 9369

الخلاصة والتوصيات

الخلاصة

Conclusions

01 يعالج QUIC قيودًا بنيوية في منظومة TCP/TLS عبر دمج النقل والأمان في طبقة واحدة فوق UDP.

02 تحقّق آلياته، من المصافحة المختصرة إلى التدفّقات المستقلة وترحيل الاتصال، مكاسب قابلة للقياس في زمن الاستجابة.

03 ليس بديلًا مطلقًا لـ TCP؛ فأداؤه على الروابط عالية السرعة وكلفة معالجته ما يزالان مجال بحث نشط.

التوصيات

Recommendations

01 إجراء قياسات ميدانية لأداء HTTP/3 مقارنة بـ HTTP/2 على الشبكات الخلوية والثابتة في ليبيا.

02 تفعيل HTTP/3 على الخوادم المحلية مع الإبقاء على HTTP/2 مسارًا احتياطيًا.

03 تضمين QUIC في مقررات الشبكات نموذجًا تطبيقيًا لتطوّر بروتوكولات النقل.

المراجع

Bishop, M. (Ed.). (2022). *HTTP/3* (RFC 9114). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9114

Chromium Blog. (2013, June 27). *Experimenting with QUIC*. Google. https://blog.chromium.org/2013/06/experimenting-with-quic.html

Cloudflare. (2025). *Cloudflare Radar 2025 year in review*. https://radar.cloudflare.com/year-in-review/2025

Duke, M. (2023). *QUIC version 2* (RFC 9369). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9369

Iyengar, J., & Swett, I. (Eds.). (2021). *QUIC loss detection and congestion control* (RFC 9002). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9002

Iyengar, J., & Thomson, M. (Eds.). (2021). *QUIC: A UDP-based multiplexed and secure transport* (RFC 9000). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9000

Kühlewind, M., & Trammell, B. (2022a). *Applicability of the QUIC transport protocol* (RFC 9308). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9308

Kühlewind, M., & Trammell, B. (2022b). *Manageability of the QUIC transport protocol* (RFC 9312). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9312

Langley, A., Riddoch, A., Wilk, A., Vicente, A., Krasic, C., Zhang, D., … Shi, Z. (2017). The QUIC transport protocol: Design and Internet-scale deployment. In *Proceedings of ACM SIGCOMM '17*. ACM. https://doi.org/10.1145/3098822.3098842

Liu, Y., Ma, Y., De Coninck, Q., Bonaventure, O., Huitema, C., & Kühlewind, M. (Eds.). (2026). *Managing multiple paths for a QUIC connection* (RFC 10069). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC10069

Pauly, T., Kinnear, E., & Schinazi, D. (2022). *An unreliable datagram extension to QUIC* (RFC 9221). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9221

Postel, J. (1980). *User datagram protocol* (RFC 768). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC0768

Postel, J. (Ed.). (1981). *Transmission control protocol* (RFC 793). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC0793

Roskind, J. (2012). *QUIC: Quick UDP Internet Connections* [Design document, revised 2013]. Google.

Thomson, M., & Turner, S. (Eds.). (2021). *Using TLS to secure QUIC* (RFC 9001). RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC9001

W3Techs. (2026). *Usage statistics of HTTP/3 for websites*. Retrieved November 27, 2026, from https://w3techs.com/technologies/details/ce-http3

Zhang, X., Jin, S., He, Y., Hassan, A., Mao, Z. M., Qian, F., & Zhang, Z.-L. (2024). QUIC is not quick enough over fast Internet. In *Proceedings of the ACM Web Conference 2024* (pp. 2713–2722). ACM. https://doi.org/10.1145/3589334.3645323

شكرًا لحسن الإصغاء

الأسئلة والنقاش

2 RTT → 1 RTT → **0 RTT**