الاتحـــــــــــاد الدولـــــــــــي للاتصـــــــــــالات

ITU-T G.8271/Y.1366

(2016/07)

قطاع تقييس الاتصالات
في الاتحاد الدولي للاتصالات

السلسلة G: أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية

جوانب الرزم عبر طبقة النقل – أهداف التزامن والجودة والتيسر

السلسلة Y: البنية التحتية العالمية للمعلومات، والجوانب الخاصة ببروتوكول الإنترنت، وشبكات الجيل التالي، وإنترنت الأشياء والمدن الذكية

جوانب بروتوكول الإنترنت – النقل

جوانب تزامن الوقت والطور في شبكات الرزم

التوصية ITU-T G.8271/Y.1366

الاتحاد الدولي للاتصالات

توصيات السلسلة G الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية

التوصيلات والدارات الهاتفية الدولية	G.199–G.100
الخصائص العامة المشتركة لكل الأنظمة التماثلية بموجات حاملة للأرسال	G.299–G.200
الخصائص الفردية للأنظمة الهاتفية الدولية بموجات حاملة على خطوط معدنية	G.399–G.300
الخصائص العامة لأنظمة الهاتف بشركات الاتصالات الدولية العاملة على وصلات الترحيل الراديوي أو الوصلات الساتلية والتوصيل البيني مع الخطوط المعدنية	G.449–G.400
تنسيق المهاتفة الراديوية والمهاتفة السلكية	G.499–G.450
خصائص وسائط الإرسال والأنظمة البصرية	G.699–G.600
التجهيزات المطرافية الرقمية	G.799–G.700
الشبكات الرقمية	G.899–G.800
الأقسام الرقمية وأنظمة الخطوط الرقمية	G.999–G.900
جودة الخدمة والأداء للوسائط المتعددة – الجوانب العامة والجوانب المتعلقة بالمستعمل	G.1999–G.1000
خصائص وسائط الإرسال	G.6999–G.6000
البيانات عبر طبقة النقل – الجوانب العامة	G.7999–G.7000
جوانب الرزم عبر طبقة النقل	G.8999–G.8000
الجوانب المتعلقة بالإثرنت عبر شبكات النقل	G.8099–G.8000
جوانب تبديل الوسم متعدد البروتوكول عبر شبكات النقل	G.8199–G.8100
أهداف التزامن والجودة والتيسر	**G.8299–G.8200**
إدارة الخدمة	G.8699–G.8600
شبكات النفاذ	G.9999–G.9000

لمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى قائمة التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات.

التوصية ITU-T G.8271/Y.1366

جوانب تزامن الوقت والطور في شبكات الرزم

ملخص

تحدد التوصية ITU-T G.8271/Y.1366 جوانب تزامن الوقت والطور في شبكات الرزم. وتوصّف الأساليب المناسبة لتوزيع إشارات التوقيت المرجعية التي يمكن استخدامها لاستعادة تزامن الطور و/أو تزامن الوقت حسب الجودة المطلوبة.

ولا بد من الالتزام بمتطلبات خصائص التزامن الموصّفة في هذه التوصية بغية ضمان قابلية التشغيل البيني للمعدات المصنعة في جهات تصنيع مختلفة وضمان الأداء المرضي للشبكة.

التسلسل التاريخي

الطبعة	التوصية	تاريخ الموافقة	لجنة الدراسات	معرف الهوية الفريد*
1.0	ITU-T G.8271/Y.1366	2012-02-13	15	11.1002/1000/11527
1.1	ITU-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 1	2013-08-29	15	11.1002/1000/12033
1.2	ITU-T G.8271/Y.1366 (2012) Amd. 2	2015-01-13	15	11.1002/1000/12391
2.0	ITU-T G.8271/Y.1366	2016-07-07	15	11.1002/1000/12812

مصطلحات أساسية

أساليب وسطوح بينية، متطلبات تزامن الوقت والطور

* للنفاذ إلى توصية، ترجى كتابة العنوان http://handle.itu.int/ في حقل العنوان في متصفح الويب لديكم، متبوعاً بمعرف التوصية الفريد. ومثال ذلك، http://handle.itu.int/11.1002/1000/11830-en.

تمهيد

الاتحاد الدولي للاتصالات وكالة متخصصة للأمم المتحدة في ميدان الاتصالات وتكنولوجيات المعلومات والاتصالات (ICT). وقطاع تقييس الاتصالات (ITU-T) هو هيئة دائمة في الاتحاد الدولي للاتصالات. وهو مسؤول عن دراسة المسائل التقنية والمسائل المتعلقة بالتشغيل والتعريفة، وإصدار التوصيات بشأنها بغرض تقييس الاتصالات على الصعيد العالمي.

وتحدد الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات (WTSA) التي تجتمع مرة كل أربع سنوات المواضيع التي يجب أن تدرسها لجان الدراسات التابعة لقطاع تقييس الاتصالات وأن تُصدر توصيات بشأنها.

وتتم الموافقة على هذه التوصيات وفقاً للإجراء الموضح في القرار 1 الصادر عن الجمعية العالمية لتقييس الاتصالات.

وفي بعض مجالات تكنولوجيا المعلومات التي تقع ضمن اختصاص قطاع تقييس الاتصالات، تُعد المعايير اللازمة على أساس التعاون مع المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO) واللجنة الكهرتقنية الدولية (IEC).

ملاحظة

تستخدم كلمة "الإدارة" في هذه التوصية لتدل بصورة موجزة سواء على إدارة اتصالات أو على وكالة تشغيل معترف بها.

والتقيد بهذه التوصية اختياري. غير أنها قد تضم بعض الأحكام الإلزامية (بهدف تأمين قابلية التشغيل البيني والتطبيق مثلاً). ويعتبر التقيّد بهذه التوصية حاصلاً عندما يتم التقيّد بجميع هذه الأحكام الإلزامية. ويستخدم فعل "يجب" وصيغ ملزمة أخرى مثل فعل "ينبغي" وصيغها النافية للتعبير عن متطلبات معينة، ولا يعني استعمال هذه الصيغ أن التقيّد بهذه التوصية إلزامي.

حقوق الملكية الفكرية

يسترعي الاتحاد الانتباه إلى أن تطبيق هذه التوصية أو تنفيذها قد يستلزم استعمال حق من حقوق الملكية الفكرية. ولا يتخذ الاتحاد أي موقف من القرائن المتعلقة بحقوق الملكية الفكرية أو صلاحيتها أو نطاق تطبيقها سواء طالب بها عضو من أعضاء الاتحاد أو طرف آخر لا تشمله عملية إعداد التوصيات.

وعند الموافقة على هذه التوصية، لم يكن الاتحاد قد تلقى إخطاراً بملكية فكرية تحميها براءات الاختراع يمكن المطالبة بها لتنفيذ هذه التوصية. ومع ذلك، ونظراً إلى أن هذه المعلومات قد لا تكون هي الأحدث، يوصى المسؤولون عن تنفيذ هذه التوصية بالاطلاع على قاعدة البيانات الخاصة ببراءات الاختراع في مكتب تقييس الاتصالات (TSB) في الموقع http://www.itu.int/ITU-T/ipr/.

© ITU 2017

جميع الحقوق محفوظة. لا يجوز استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي وسيلة كانت إلا بإذن خطي مسبق من الاتحاد الدولي للاتصالات.

جدول المحتويات

الصفحة

1 مجال التطبيق 1
2 المراجع 1
3 تعاريف 2
4 الاختصارات والأسماء المختصرة 2
5 اصطلاحات 3
6 الحاجة إلى تزامن الوقت والطور 3
7 أساليب تزامن الوقت والطور 5
1.7 ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية الموزعة 5
2.7 الأساليب القائمة على الرزم مع دعم توقيت من العقد الوسيطة 6
8 نموذج الشبكة المرجعي 8
1.8 قسم النفاذ في النموذج المرجعي الافتراضي (HRM) بواسطة بروتوكول الوقت الدقيق/وظيفة العمل البيني (IWF) للنفاذ الأصلي 10
9 السطوح البينية لتزامن الوقت والطور 11
الملحق A – توصيف السطح البيني لتزامن الوقت والطور لنبضة واحدة في الثانية (1PPS) 12
1.A السطح البيني 1PPS ITU-T V.11 12
2.A السطح البيني لقياس تزامن طور نبضة واحدة في الثانية (1PPS) مقاومتها 50 Ω 18
التذييل I – مصادر ضوضاء الوقت والطور في سلاسل توزيع الوقت 19
1.I الضوضاء الناجمة عن ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية (PRTC) 19
2.I الضوضاء الناجمة عن وظيفة ميقاتية ضابطة للرزمة 19
3.I الضوضاء الناجمة عن وظيفة ميقاتية مضبوطة للرزمة 19
4.I الضوضاء الناجمة عن ميقاتية شفافة للاتصالات 20
5.I الضوضاء الناجمة عن وصلة 20
6.I اشتقاق عدم تناظر التأخير 20
7.I خصائص مصادر الضوضاء 22
8.I تراكم أخطاء الوقت في سلسلة ميقاتيات 25
التذييل II – متطلبات تزامن الوقت والطور في التطبيق الطرفي 26
التذييل III – تعويض عدم التناظر عند استخدام أطوال موجة مختلفة 29
التذييل IV – تعويض عدم تناظر الوصلة والشبكة 30
التذييل V – عدم تناظر التأخر الناتج عن تغير معدل السطح البيني في عناصر الشبكة غير المواكبة لبروتوكول الوقت الدقيق (PTP) 32
بيبليوغرافيا 35

جوانب تزامن الوقت والطور في شبكات الرزم

1 مجال التطبيق

تحدد التوصية ITU-T G.8271/Y.1366 جوانب تزامن الوقت والطور في شبكات الرزم. وتوصّف الأساليب المناسبة لتوزيع إشارات التوقيت المرجعية التي يمكن استخدامها لاستعادة تزامن الطور و/أو تزامن الوقت حسب الجودة المطلوبة. وتوصّف أيضاً السطوح البينية لتزامن الوقت والطور ذات الصلة والأداء ذا الصلة.

وتنحصر شبكات الرزم الواقعة في مجال تطبيق هذه التوصية في السيناريوهات التالية:

- الإثرنت ([IEEE 802.3] و[IEEE 802.1Q]).
- تبديل الوسم بعدة بروتوكولات (MPLS) [IETF RFC 3031] و[ITU-T G.8110]
- بروتوكول الإنترنت (IP) [IETF RFC 791] و[RFC 2460]

والطبقات المادية ذات الصلة بهذه المواصفة هي أنماط وسائط الإثرنت على النحو المحدد في المعيار [IEEE 802.3].

2 المراجع

تتضمن التوصيات التالية لقطاع تقييس الاتصالات وغيرها من المراجع أحكاماً تشكل من خلال الإشارة إليها في هذا النص جزءاً لا يتجزأ من هذه التوصية. وقد كانت جميع الطبعات المذكورة سارية الصلاحية في وقت النشر. ولما كانت جميع التوصيات والمراجع الأخرى تخضع إلى المراجعة، يرجى من جميع المستعملين لهذه التوصية السعي إلى تطبيق أحدث طبعة للتوصيات والمراجع الأخرى الواردة أدناه. وتُنشر بانتظام قائمة توصيات قطاع تقييس الاتصالات السارية الصلاحية. والإشارة إلى وثيقة ما في هذه التوصية لا يضفي على الوثيقة في حد ذاتها صفة التوصية

[ITU-T G.703] التوصية ITU-T G.703 (2016)، الخصائص المادية/الكهربائية للسطوح البينية الرقمية التراتبية.

[ITU-T G.810] التوصية ITU-T G.810 (1996)، تعاريف ومصطلحات شبكات التزامن.

[ITU-T G.8110] التوصية ITU-T G.8110/Y.1370 (2005)، معمارية شبكات طبقة تبديل الوسم بعدة بروتوكولات (MPLS)

[ITU-T G.8260] التوصية ITU-T G.8260 (2015)، *تعاريف ومصطلحات التزامن في شبكات الرزم*.

[ITU-T G.8261] التوصية ITU-T G.8261/Y.1361 (2013)، *جوانب التوقيت والتزامن في شبكات الرزم*.

[ITU-T V.11] Recommendation ITU-T V.11/X.27 (1996), *Electrical characteristics for balanced double-current interchange circuits operating at data signalling rates up to 10 Mbit/s.*

[IEEE 802.1Q] IEEE 802.1Q-2014, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks – Bridges and Bridged Networks* <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.1Q-2014.html>

[IEEE 802.3] IEEE 802.3-2015, *IEEE Standard for Ethernet*. <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.3-2015.html>

[IEEE 1588] IEEE 1588-2008, *Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems*. <http://standards.ieee.org/findstds/standard/1588-2008.html>.

IETF RFC 791 (1981), *Internet Protocol (IP)*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc0791.txt?number=791>. [IETF RFC 791]

IETF RFC 2460 (1998), *Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2460.txt?number=2460> [IETF RFC 2460]

IETF RFC 3031 (2001), *Multiprotocol Label Switching Architecture*. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt?number=3031> [IETF RFC 3031]

3 تعاريف

ترد في المراجع [ITU-T G.810] و[ITU-T G.8260] و[IEEE 1588] المصطلحات والتعاريف المستخدمة في هذه التوصية.

4 الاختصارات والأسماء المختصرة

تستعمل هذه التوصية المختصرات والأسماء المختصرة التالية:

1PPS نبضة واحدة في الثانية *(One Pulse Per Second)*

CDMA نفاذ متعدد بتقسيم شفري *(Code Division Multiple Access)*

DCF الألياف البصرية المعوضة عن التشتت *(Dispersion Compensating Fibre)*

FCS تتابع التحقق من الإطار *(Frame Check Sequence)*

FDD ازدواج بتقسيم التردد *(Frequency Division Duplex)*

GBAS نظام تجويد قائم على سطح الأرض *(Ground Based Augmentation System)*

GNSS النظام العالمي للملاحة الساتلية *(Global Navigation Satellite System)*

GPS النظام العالمي لتحديد المواقع *(Global Positioning System)*

HRPD بيانات رزم بمعدل عال *(High Rate Packet Data)*

IP بروتوكول الإنترنت *(Internet Protocol)*

IRNSS النظام الإقليمي الهندي للملاحة الساتلية *(Indian Regional Navigation Satellite System)*

LTE التطور الطويل الأجل *(Long Term Evolution)*

LTE-A التطور الطويل الأجل–المتقدم *(Long Term Evolution – Advanced)*

MAC التحكم في النفاذ إلى الوسائط *(Medium Access Control)*

MBMS خدمة الإرسال الإذاعي متعدد الوسائط إلى مقاصد متعددة *(Multimedia Broadcast Multicast Service)*

MBSFN خدمة إرسال MBMS القائمة على تردد واحد *(MBMS based on Single Frequency Network)*

M2M من آلة إلى آلة *(Machine to Machine)*

NTP بروتوكول وقت الشبكة *(Network Time Protocol)*

OTN شبكة النقل البصرية *(Optical Transport Network)*

PDV تنوع تأخر الرزم *(Packet Delay Variation)*

PHY بروتوكول الطبقة المادية *(Physical Layer Protocol)*

PRTC ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية *(Primary Reference Time Clock)*

PSN شبكة عاملة على تبديل الرزم *(Packet Switched Network)*

PTP بروتوكول الوقت الدقيق *(Precision Time Protocol)*

QZSS نظام ساتلي شبه سمتي *(Quasi-Zenith Satellite System)*

RTT تكنولوجيا الإرسال الراديوي *(Radio Transmission Technology)*

SBAS نظام تجويد قائم على الساتل *(Satellite Based Augmentation System)*

TAI التوقيت الذي العالمي *(International Atomic Time)*

TDD إرسال مزدوج بتقسيم الزمن *(Time Division Duplexing)*

TD-SCDMA نفاذ CDMA المتزامن في ميدان الوقت *(Time Domain Synchronized CDMA)*

T-BC الميقاتية الحدودية للاتصالات *(Telecom Boundary Clock)*

T-GM الضابطة الكبرى للاتصالات *(Telecom Grandmaster)*

T-TC الميقاتية الشفافة للاتصالات *(Telecom Transparent Clock)*

T-TSC الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات *(Telecom Time Slave Clock)*

UDP بروتوكول وحدة بيانات المستخدم *(User Datagram Protocol)*

UTC التوقيت العالمي المنسق *(Universal Time Co-ordinated)*

UTRA النفاذ الراديوي الأرضي الشامل *(Universal Terrestrial Radio Access)*

WCDMA نفاذ CDMA واسع النطاق *(Wideband CDMA)*

WDM تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة *(Wavelength-Division-Multiplexing)*

WiMAX قابلية التشغيل البيني للنفاذ بالموجات الصغرية عالمياً *(Worldwide Interoperability for Microwave Access)*

5 اصطلاحات

تُستعمل الاصطلاحات التالية في هذه التوصية: "بروتوكول الوقت الدقيق" (PTP) هو البروتوكول الذي يعرِّفه المرجع [IEEE 1588]. وكصفة، فهو يشير إلى أن الاسم المعدل موصَّف أو مفسَّر في سياق المرجع [IEEE 1588].

ويشير مصطلح الميقاتية الحدودية للاتصالات (T-BC) إلى جهاز يتألف من ميقاتية حدودية على النحو المعرَّف في المرجع [IEEE 1588] وخصائص أداء إضافية تحتاج لمزيد من الدراسة.

ويشير مصطلح الميقاتية الشفافة للاتصالات (T-TC) إلى جهاز يتألف من ميقاتية شفافة على النحو المعرَّف في المرجع [IEEE 1588] وخصائص أداء إضافية تحتاج لمزيد من الدراسة.

ويشير مصطلح الضابطة الكبرى للاتصالات (T-GM) إلى جهاز يتألف من ميقاتية ضابطة كبرى على النحو المعرَّف في المرجع [IEEE 1588] وخصائص أداء إضافية تحتاج لمزيد من الدراسة.

ويشير مصطلح الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC) إلى جهاز يتألف من ميقاتية مضبوطة حصراً وفق بروتوكول الوقت الدقيق على النحو المعرَّف في المرجع [IEEE 1588] وخصائص أداء إضافية تحتاج لمزيد من الدراسة.

6 الحاجة إلى تزامن الوقت والطور

جرى تطلُّب تزامن الوقت تقليدياً لدعم وظائف الفوترة والتنبيه (الصيانة أو تحديد الأخطاء). وفي هذا السياق، يجب أن يكون التزامن بشكل عام دقيقاً في حدود مئات الميلي ثانية.

ويتمثل تطبيق آخر لتزامن الوقت في مراقبة التأخرات في شبكات بروتوكول الإنترنت (IP). وفي هذه الحالة، يقع متطلب الدقة في حدود بضع مئات من الميكروثانية (يعتمد المتطلب الفعلي على التطبيق).

وتطبق المتطلبات الصارمة لتزامن الوقت (أي في مدى بضع ميكروثوان) على توليد إشارات عبر السطح البيني الهوائي لبعض الأنظمة المتنقلة، مثل الإرسال إلى مقصد واحد بتقنية CDMA2000 أو LTE FDD، عندما يكون دعم التشغيل البيني المتزامن لتقنية CDMA2000 مطلوباً.

وكثيراً ما تدعو الحاجة إلى تزامن الطور لدعم متطلبات السطح البيني الهوائي لبعض الأنظمة المتنقلة، كما هو الحال في أنظمة الإرسال المزدوج بتقسيم الزمن (TDD) (LTE TDD على سبيل المثال)، أو عند دعم خدمة الإرسال الإذاعي متعدد الوسائط إلى مقاصد متعددة (MBMS)؛ علماً بأن خدمة WCDMA MBMS العادية لا تتطلب تزامن طور دقيق لأنها عُرِّفت وصُممت للعمل بشكل صحيح في الشبكات التي تستوفي متطلب دقة ترددية بواقع 50 جزء في البليون. وهذا المتطلب الذي تكفله وظيفة تزامن عقدة WCDMA (انظر المرجع [b-3GPP TS 25.402]) يحصر انجراف الطور ما بين 10 و20 ms. ولكن عندما تستند خدمة الإرسال الإذاعي متعدد الوسائط إلى مقاصد متعددة إلى أسلوب الشبكة أحادية التردد (MBSFN)، يجب أن يكون التوقيت دقيقاً بحدود بضع ميكروثوان. ويرجع ذلك إلى أن أشكال الموجات المتطابقة تُرسَل في وقت واحد من خلايا متعددة. ثم يجري الجمع بين الإشارات من هذه الخلايا كمكونات متعددة المسيرات لخلية واحدة. وهكذا يجب على المطاريف تصور إشارات مجموعة كاملة من خلايا الإرسال كما لو أنها جاءت من خلية واحدة. ولذلك، يجب أن تكون جميع الإرسالات متزامنة بإحكام وأن تقدم المحتوى نفسه بالضبط لكل محطة قاعدة.

ويرد في التذييل II ملخص للمتطلبات الرئيسية السارية عند خرج التطبيق (مثل السطح البيني الراديوي في حالة تطبيق لاسلكي).

واستناداً إلى الجدول 1.II، يمكن تصنيف التطبيقات بأصناف من المتطلبات، على النحو المبين في الجدول 1 أدناه.

ملاحظة – في حالة التطبيقات المتنقلة على النحو المبين في الجدول 1.II، يعبَّر عن المتطلبات عموماً بدلالة خطأ الطور بين المحطات القاعدة. وفي حالة ضابطة مركزية، يمكن التعبير عن هذا المتطلب على أنه ± نصف متطلب الدقة المطبقة على التكنولوجيا المحددة. ويعرض الجدول 1 المتطلب في هذا النسق من أجل السماح بتحليل ميزنة الخطأ في الوقت كما توزَّع من ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية (PRTC) نحو التطبيق الطرفي.

الجدول 1 – أصناف متطلبات الوقت والطور

مستوى الدقة	المتطلبات من حيث خطأ الوقت (الملاحظة 1)	التطبيقات النمطية (للعلم)
1	500 ms	فوترة، تنبيهات
2	100 µs	مراقبة التأخر وفق IP
3	5 µs	LTE TDD (خلية كبيرة)
4	1,5 µs	UTRA-TDD، LTE TDD (خلية صغيرة) WiMAX-TDD (بعض التشكيلات)
5	1 µs	WiMAX-TDD (بعض التشكيلات)
6	x ns (الملاحظة 3)	تطبيقات مختلفة، بما فيها الخدمات القائمة على الموقع وبعض ميزات LTE-A (الملاحظة 2)

الملاحظة 1 – يعبر عن المتطلَّب بدلالة الخطأ فيما يتعلق بمرجع مشترك.

الملاحظة 2 – تجري حالياً دراسة متطلبات الأداء الخاصة بميزات LTE-A. ولأغراض المعلومات فقط، ذُكرت قيم تتراوح بين 500 ns و5.1 µs لبعض ميزات LTE-A. وحسب المواصفات النهائية التي وضعها مشروع 3GPP، يمكن التعامل مع تطبيقات LTE-A على مستوى مختلف من الدقة.

الملاحظة 3 – للاطلاع على القيمة x، يرجى الرجوع إلى الجدول 2.II في التذييل II.

وتتناول هذه التوصية أساساً أصناف المتطلبات الأكثر صرامة التي يشار إليها بمستويات الدقة 4 و5 و6 في الجدول 1.

7 أساليب تزامن الوقت والطور

تُستخدم الأساليب القائمة على الرزم (التي تستخدم عادة بروتوكول وقت الشبكة (NTP)) تقليدياً دون دعم توقيت من الشبكة لدعم التطبيقات ذات المتطلبات الأقل صرامةً من حيث تزامن الوقت والطور (الصنف 1 وفقاً للجدول 1).

وتركز هذه التوصية على التطبيقات المقابلة للأصناف 4 و5 و6 وفقاً للجدول 1.

وفيما يتعلق بهذه التطبيقات، تؤخذ في الاعتبار الخيارات التالية في هذه التوصية:

- نهج ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية (PRTC)، الذي ينفذ مستقبِل النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS) في التطبيق الطرفي (مستقبل النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) مثلاً).
- الأساليب القائمة على الرزم مع دعم توقيت للعقد الوسيطة.

ملاحظة – إن استخدام الأساليب القائمة على الرزم دون دعم توقيت للعقد الوسيطة، وتعريف ماهية صنف المتطلبات في الجدول 1 التي يمكن أن تدعمها، يحتاج لمزيد من الدراسة.

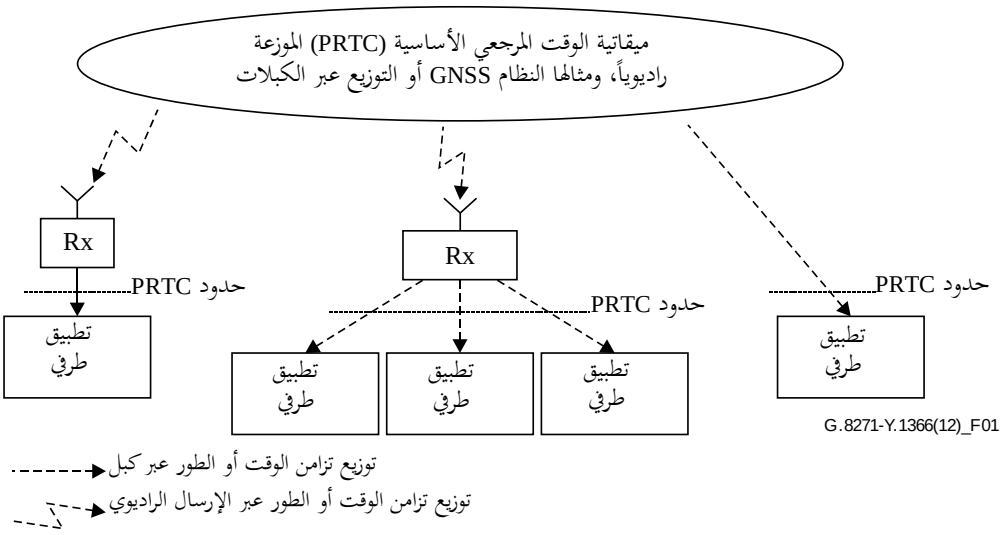
وتقدم الفقرات التالية تفاصيل عن خصائص أساليب التزامن المختلفة.

1.7 ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية الموزعة

يتمثل أحد أساليب تحقيق تزامن الوقت والطور في توزيع إشارة التزامن مباشرة على كل ميقاتية في الشبكة. ويشار إلى هذا الأسلوب على أنه "ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية الموزعة"، وهو مجدٍ عموماً في التوزيع الراديوي لأن التوزيع القائم على الأسلاك على نطاق شبكة سيتطلب شبكة إضافية كاملة على نحو قد يكون غير عملي. بيد أن التوزيع عن بعد لإشارة ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية عبر كبلات قد يكون ممكناً أيضاً في بعض الحالات. ويتحقق التوزيع الراديوي عادة عن طريق النظام العالمي للملاحة الساتلية، مثل النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS). ويمكن أيضاً استخدام أنظمة راديوية أخرى.

والهدف الرئيسي من شبكة التزامن هو مزامنة التطبيقات الطرفية التي تتطلب مرجعاً للتوقيت. وفي حال وجود العديد من التطبيقات الطرفية في موقع واحد، يمكن نشر مرجع واحد لميقاتية الوقت المرجعي الأساسية في الموقع وتمكن مواصلة توزيع مرجع الوقت/الطور في الموقع من وظيفة مركزية. وتحتاج تفاصيل الوظيفة المركزية لمزيد من الدراسة.

ويقدم الشكل 1 أدناه تمثيلاً عاماً لأسلوب ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية الموزعة. وفي حالة التزامن القائم على النظام العالمي للملاحة الساتلية، توزَّع إشارة التوقيت المرجعية بواسطة الإشارات الساتلية ويعمل مستقبل النظام العالمي للملاحة الساتلية كميقاتية الوقت المرجعي الأساسية للشبكة. ويقوم المستقبل (RX في الشكل) بمعالجة إشارة النظام العالمي للملاحة الساتلية ويستخرج إشارة مرجعية للتطبيقات الطرفية.



الشكل 1 – مثال على شبكة تزامن ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية الموزعة

الخصائص الرئيسية

تتمثل إحدى المزايا الرئيسية لنهج ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية الموزعة في أن إشارات التوقيت المرجعية متاحة في جميع أنحاء العالم في حالة النظام العالمي للملاحة الساتلية. ويسمح هذا النهج أيضاً بتراتبية مسطحة للتوزيع دون المخاطرة بحلقات توقيت مفرغة. وبشكل عام، يكون التخطيط الشامل للشبكة أسهل أيضاً.

وتتمثل العيوب الرئيسية لهذا النهج في الاعتماد على مشغل نظام الملاحة، ومتطلبات تستلزم هوائياً مكشوفاً بزاوية عريضة نحو السماء، والحاجة إلى معالجة الحماية من الصواعق، وبوجه عام، الإشكالات المتصلة بكبلات الهوائي.

وأخيراً، تشكل الأنظمة القائمة على النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS) خطر تداخل، بواسطة أنظمة التلفزيون والتشبع والتشويش مثلاً.

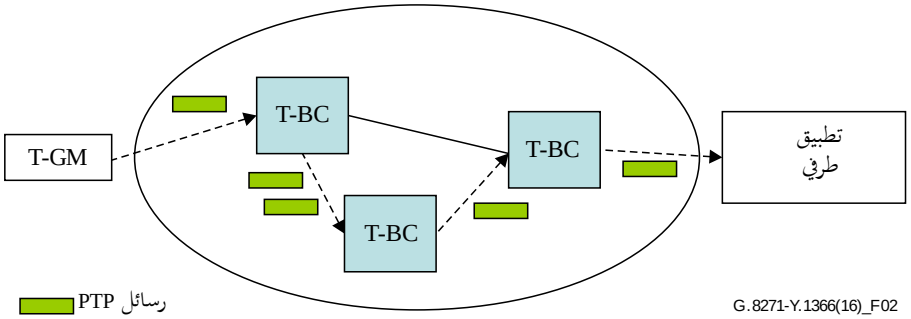
ولكن تجدر الإشارة إلى أن تطور التكنولوجيا يقلل من بعض العيوب الرئيسية (مثل التركيب والموثوقية وما إلى ذلك). وعلاوةً على ذلك، ينبغي أن يكون تأمين مستقبلات النظام العالمي للملاحة الساتلية ممكناً، على سبيل المثال، عندما يتاح مرجع ترددي دقيق، مثل إشارة إثرنت متزامنة. وتحتاج الخيارات المتاحة لتأمين مستقبلات النظام العالمي للملاحة الساتلية لمزيد من الدراسة.

ومن حيث الأداء، تحتاج الدقة التي يمكن تحقيقها عن طريق نظام ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية لمزيد من الدراسة.

2.7 الأساليب القائمة على الرزم مع دعم توقيت من العقد الوسيطة

يمكن توزيع تزامن الوقت عبر بروتوكولات توقيت مثل PTP (انظر المرجع [IEEE 1588]). وتركز هذه التوصية حالياً على الحالات التي يُحمل فيها مرجع التوقيت بدعم من الشبكة.

ويتعلق دعم التوقيت في العقد الوسيطة (مثل بدالات الإثرنت) بوظائف توقيت محددة في العتاد وكذلك في البرمجيات (انظر الشكل 2).



الشكل 2 – مثال على الأسلوب القائم على الرزم بدعم من عقد الشبكة

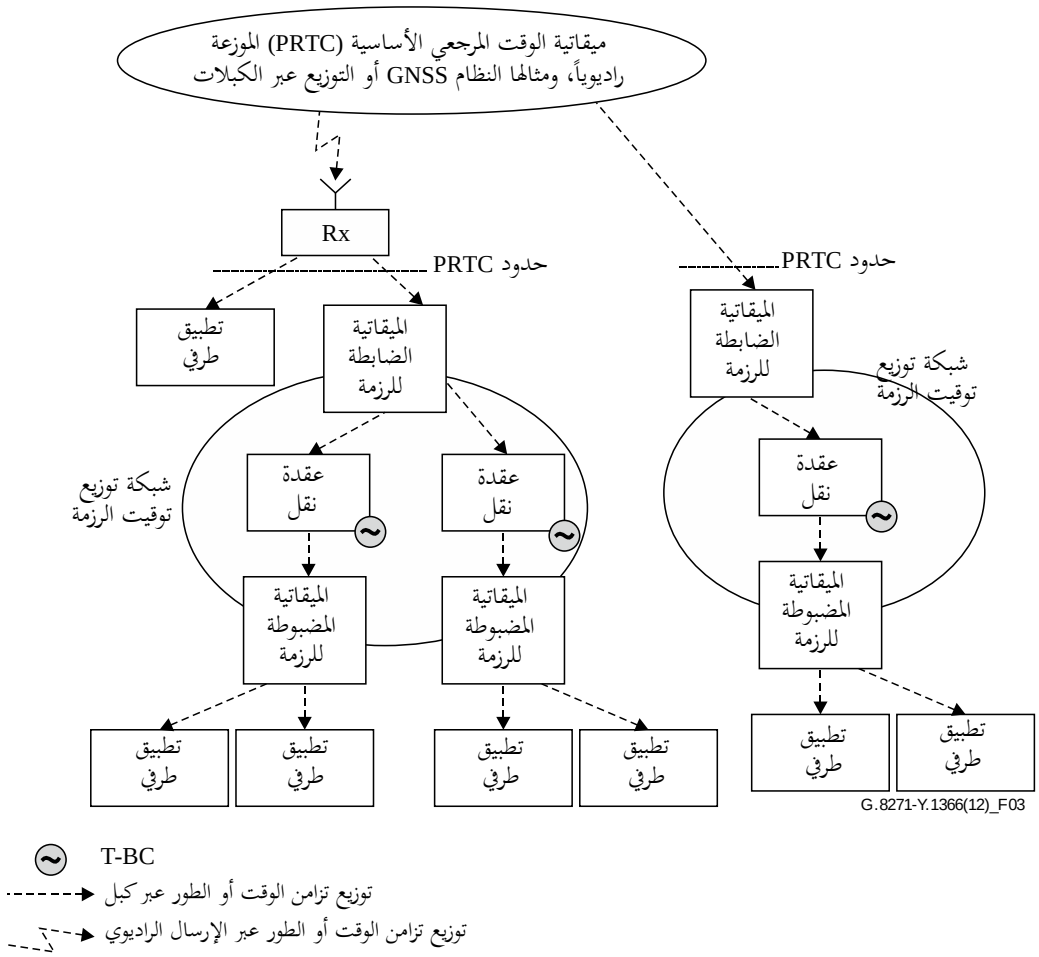
وفي حالة بروتوكول الوقت الدقيق (PTP)، يمكن لهذه الوظائف أن تتوافق إما مع الميقاتية الحدودية للاتصالات (T-BC) أو الميقاتية الشفافة للاتصالات (T-TC)، مع مهر العتاد بختم زمني عند السطوح البينية ذات الصلة.

وتنهي الميقاتية الحدودية للاتصالات عملها وتعاود توليد رسائل الختم الزمني.

وتقدم الميقاتية الشفافة للاتصالات وسيلة لقياس التأخرات التي أضافها عنصر الشبكة والوصلات الموصولة بعنصر الشبكة.

وتنظر هذه التوصية فقط في دعم الميقاتية الحدودية للاتصالات في هذا الإصدار. ويحتاج استخدام الميقاتية الشفافة للاتصالات في تطبيقات الاتصالات إلى مزيد من الدراسة.

ويبين الشكل التالي مثالاً على تزامن الطور/الوقت الموزع عبر أساليب قائمة على الرزم مع دعم التوقيت من الشبكة. أما وظيفة ميقاتية الرزم الضابطة في الضابطة الكبرى للاتصالات التي يمكنها النفاذ إلى إشارة توقيت مرجعية متوافقة مع حدود ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية، فتنشئ توزيع توقيت الرزم، وتنفذ كل عقدة نقل ميقاتيةَ حدودية للاتصالات.



الشكل 3 – مثال على تزامن الوقت الموزع عبر أساليب قائمة على الرزم

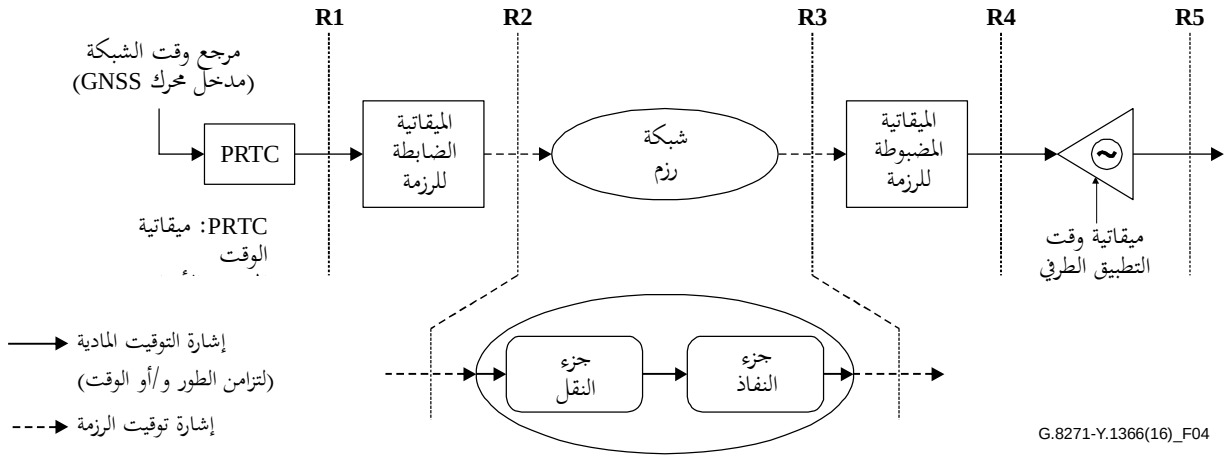
الخصائص الرئيسية

تتمثل الميزة الرئيسية لحل توزيع تزامن الوقت عبر الأساليب القائمة على الرزم في الانخفاض الكبير في عدد مستقبلات النظام العالمي للملاحة الساتلية. وتجدر الإشارة إلى أن ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية إذا استندت إلى النظام العالمي للملاحة الساتلية، ستُتطلب مستقبلات النظام العالمي للملاحة الساتلية في مواقع ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية.

ومن بين العيوب، يلاحَظ أن تخطيط الشبكة في هذه الحالة يصبح أكثر تعقيداً (مع احتمال حدوث حلقات توقيت مفرغة، على سبيل المثال). وبالإضافة إلى ذلك، يجب أن يؤخذ تراكم الضوضاء في الاعتبار أيضاً. وأخيراً، هناك إشكال آخر يتعلق بهذه المنهجية وهو خطأ الوقت بسبب أوجه عدم التناظر في الشبكة التي يتعين ضبطها (مما يعني معايرة أطوال الألياف، على سبيل المثال).

8 نموذج الشبكة المرجعي

يصف الشكل 4 نموذج الشبكة المرجعي المستخدم لتحديد أهداف أداء التزامن في الوقت والطور.



الشكل 4 – نموذج الشبكة المرجعي

تعرَّف النقاط المرجعية التالية. وتعرَّف جميع المتطلبات المتعلقة بهذه النقاط المرجعية بالنسبة إلى مرجع زمني مشترك، بمعنى أي مرجع زمني معترف به مثل وقت النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS).

- R1: خرج ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية
- R2: خرج الميقاتية الضابطة للرزمة
- R3: دخل الميقاتية المضبوطة للرزمة
- R4: خرج الميقاتية المضبوطة للرزمة
- R5: خرج التطبيق الطرفي

وقد يلزم أخذ بعض تكنولوجيات النفاذ المحددة في الاعتبار ضمن النموذج المرجعي للشبكة في بعض الحالات. فعلى سبيل المثال، يمكن تشكيل شبكة رزم بين النقطتين R2 وR3 في بعض حالات جزء النقل وجزء النفاذ. وسيكون لكل جزء بعد ذلك ميزانيته الخاصة بالطور/الوقت المستمدة من الآليات الخاصة بالوسائط التي وُضعت لنقل تزامن التردد والوقت.

الملاحظة 1 – في الشكل 4، يمكن أن تتطابق الميقاتية الضابطة للرزمة مع الضابطة الكبرى للاتصالات ويمكن للميقاتية المضبوطة للرزمة أن تتطابق مع الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC).

الملاحظة 2 – تستند دراسات الأداء قيد الإعداد إلى دعم توقيت كامل في الشبكة باستخدام الختم الزمني للعتاد (مثل الميقاتية الحدودية للاتصالات في كل عقدة في حالة المرجع [IEEE 1588]) وبدون دعم تزامن ترددي في الطبقة المادية (دعم إثرنت متزامن، على سبيل المثال).

الملاحظة 3 – قد يلزم النظر في بعض تكنولوجيات النفاذ المحددة في النموذج المرجعي للشبكة في بعض الحالات. فعلى سبيل المثال، يمكن في بعض حالات تشكيل شبكة الرزم بين النقطتين R2 وR3 من جزء النقل وجزء النفاذ. وسيكون لكل جزء بعد ذلك ميزانيته الخاصة بالطور/الوقت. وفي سيناريوهات أخرى، مثل الوصلات الوسيطة، يمكن وضع شريحة النفاذ عند النقطة R4، بين الميقاتية المضبوطة للرزمة والتطبيق الطرفي. ويتعين إجراء مزيد من الدراسة لتعريف النماذج المرجعية للشبكة مع أخذ تكنولوجيات النفاذ في الاعتبار.

وتحتاج حالة الدعم الجزئي للتوقيت لمزيد من الدراسة.

وتتصل الميزانية الإجمالية بنقطة القياس 'R5' (أي خطأ الوقت عند النقطة R5 فيما يتعلق بالمرجع الزمني المشترك).

وتحدد النقاط'R1' و'R2' و'R3' و'R4' نقاط القياس المرجعية الأخرى ذات الصلة وحدود الشبكة ذات الصلة التي تشير أيضاً إلى ميزانية الضوضاء التي يمكن توزيعها لشرائح الشبكة ذات الصلة (من "R1 إلى R3"، أو من "R1 إلى R4"، مثلاً، وما إلى ذلك).

وقد تعتمد نقاط القياس التي تهم تطبيق معين على المكان الذي تنطبق فيه حدود الميدان الإداري للشبكة.

وعلى النحو الموصوف أعلاه، ينبغي إجراء القياس في بعض الحالات على إشارة توقيت في اتجاهين، الأمر الذي يتطلب استخدام إعدادات اختبار ومقاييس محددة.

وتمثل إعدادات القياس لإشارات التوقيت ثنائية الاتجاه وكذلك الضوضاء التي تمكن إضافتها بواسطة معدات اختبار القياس بنداً يحتاج إلى مزيد من الدراسة.

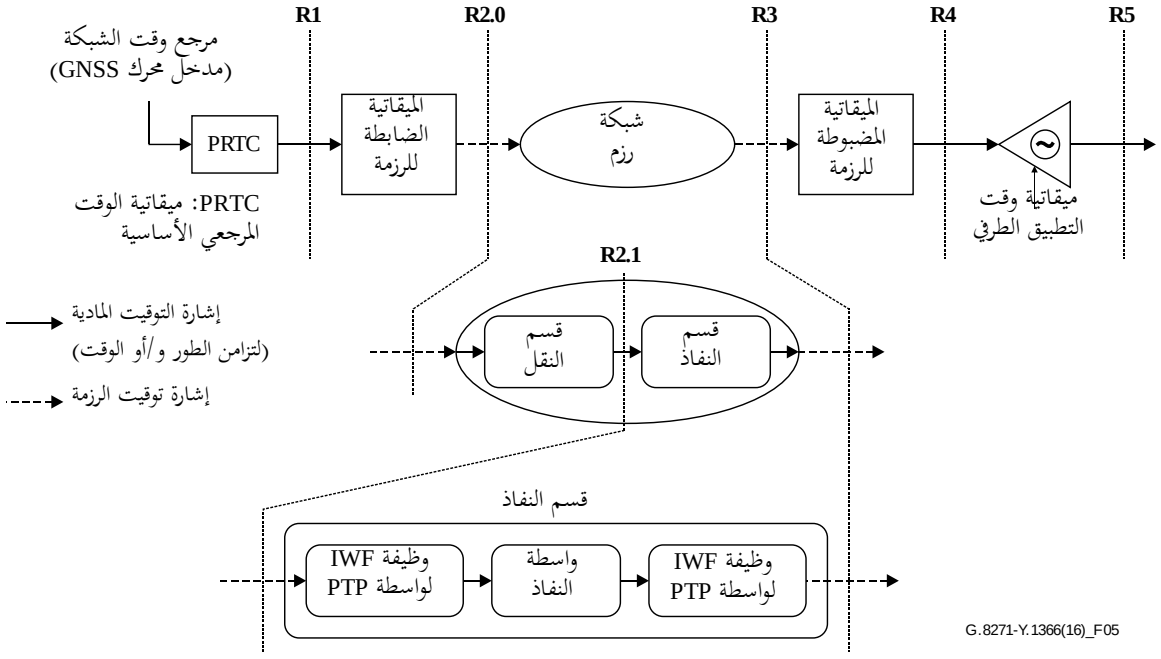
وثمة إمكانية أخرى في إجراء القياس باستخدام مرجع خارجي مخصص لخرج الطور/الوقت، مثل السطح البيني 1PPS. ويقدم الملحق A في هذه التوصية إرشادات بشأن هذا النوع من السطوح البينية.

1.8 قسم النفاذ في النموذج المرجعي الافتراضي (HRM) بواسطة بروتوكول الوقت الدقيق/وظيفة العمل البيني (IWF) للنفاذ الأصلي

تمكن مواصلة توسيع النموذج المرجعي للشبكة العامة في الشكل 4 لتوضيح أنواع مختلفة من تكنولوجيا النفاذ يمكن استعمالها عند حافة الشبكة مثل الموجات الصغرية أو الخط الرقمي للمشترك (DSL) أو الشبكة البصرية المنفعلة (PON).

وبصفة عامة يمكن تصنيف تكنولوجيات النفاذ على أنها تكنولوجيات مشتركة من نقطة إلى عدة نقاط أو تكنولوجيات من نقطة إلى نقطة. ومثال تكنولوجيا الوسائط المشتركة من نقطة إلى عدة نقاط هو الشبكة البصرية المنفعلة (PON) بطرف رأس واحد متعدد المنافذ وأجهزة طرفية متعددة. ومن الأمثلة على التكنولوجيا من نقطة إلى نقطة، نظام الموجات الصغرية.

ويوسع الشكل 5 قسم النفاذ لإظهار تحويل الوسائط الذي يحدث بين تكنولوجيا الإثرنت التي تشكل التزامن الحالي في النموذج المرجعي الافتراضي (HRM) لقسم النقل والتكنولوجيات في قسم النفاذ إلى النموذج المرجعي الافتراضي. وقد تعتمد ميزانية خطأ الوقت لهذا القسم على خصوصية نوع التكنولوجيا.



الشكل 5 – نموذج مرجعي للشبكة مع قسم النفاذ

على سبيل المثال، فإن قسم النقل بين R2.0 وR2.1 المأخوذ من سلسلة شبكية من التوصية [ITU-T G.8271.1] يتألف ميقاتيات التوصية ITU-T G.8273.2 الحدودية للاتصالات والمواكبة للتوقيت تماماً باستخدام PTP وSyncE. وبين النقطتين R2.1 وR3.0 من قسم النفاذ، قد تكون هناك أيضاً ميقاتيات حدودية للاتصالات، وفي هذه الحالة يجري توصيلها من وإلى ميقاتيات النفاذ الأصلية. وتقدم ميقاتيات النفاذ الأصلية هذه التوصيل المباشر إلى الواسطة. وبصورة أساسية، تقدم الميقاتية الحدودية للاتصالات وميقاتية النفاذ الأصلية ووظيفة العمل البيني (IWF) التي تحول بين الإثرنت الحاملة لبروتوكول الوقت الدقيق وواسطة النفاذ.

وسيتعرض قسم النفاذ لخطأ في الوقت يمثل توليفة من المكونات الثابتة والدينامية للواسطة وكذلك مساهمة الميقاتيات في قسم النفاذ.

9 السطوح البينية لتزامن الوقت والطور

تلزم السطوح البينية لتزامن الوقت والطور للأغراض التالية:

1) السطح البيني للقياس:

يجب تنفيذ سطح بيني خارجي مخصص لخرج الطور/الوقت في ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية والضابطة الكبرى للاتصالات والميقاتية الحدودية للاتصالات والميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات، من أجل السماح لمشغلي الشبكات بقياس جودة تزامن الوقت/الطور الموزع على طول سلسلة التزامن.

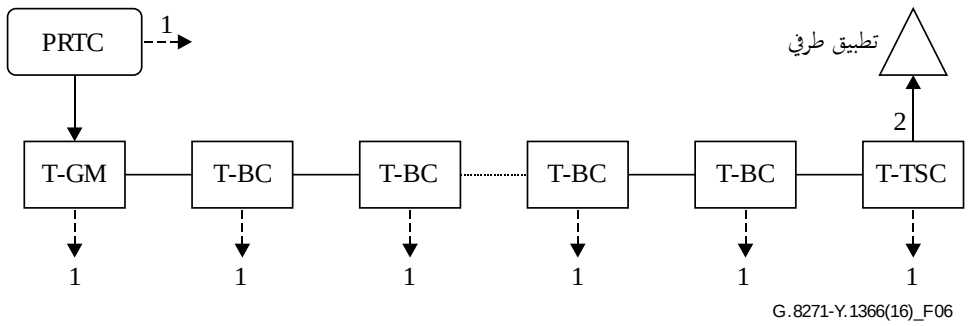
ويشكل السطح البيني لنبضة واحدة في الثانية (1PPS) سطحاً بينياً كافياً للقياس، وينبغي تنفيذه وفق أحد السطوح البينية الموصَّفة في الملحق A. وتحتاج سطوح بينية إضافة للقياس إلى مزيد من الدراسة.

2) السطح البيني للتوزيع:

تدعو الحاجة أحياناً إلى سطوح بينية لتزامن الوقت والطور من أجل توصيل الأنظمة التي تنتمي إلى سلسلة توزيع تزامن الوقت/الطور.

ويتمثل التطبيق النمطي في حالة الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC) الموصولة بتطبيق طرفي، مثل محطة قاعدة مجهزة بالسطح البيني القائم لدخل نبضة واحدة في الثانية. وتحتاج تفاصيل سطوح التوزيع البينية لمزيد من الدراسة.

ويبين الشكل 6 أمثلة لكلا نمطي السطوح البينية لتزامن الوقت والطور: السطوح البينية للقياس (النقطة المرجعية 1) والسطوح البينية للتوزيع (النقطة المرجعية 2). وقد تنطبق متطلبات مختلفة على هاتين النقطتين.



الشكل 6 – المواقع الممكنة للسطوح البينية الخارجية للوقت والطور في سلسلة الميقاتيات الحدودية للاتصالات

الملحق A

توصيف السطح البيني لتزامن الوقت والطور لنبضة واحدة في الثانية (1PPS)

(يشكل هذا الملحق جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

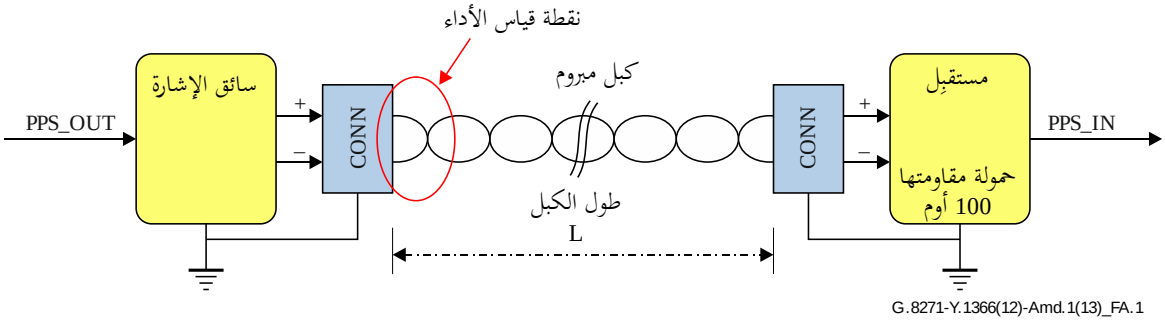
1.A السطح البيني 1PPS ITU-T V.11

يستخدم السطح البيني لوقت/طور نبضة واحدة في الثانية السطح البيني ITU-T V.11 من نقطة إلى نقطة على النحو الموصَّف في التوصية [ITU-T V.11] مع متطلب إضافي بشأن زمني ارتفاع/هبوط إشارة نبضة واحدة في الثانية على النحو المحدد في التوصية [ITU-T G.703]. ويلزم ذلك لتقديم الدقة المطلوبة لإشارة نبضة واحدة في الثانية.

ويمكن استعمال هذا السطح البيني لتوزيع تزامن الوقت وكذلك لقياس الوقت.

والسطح البيني هو سطح بيني متوازن يمكنه أن يحتمل قدراً كبيراً من ضوضاء الأسلوب المشترك.

ويتكون السطح البيني لنبضة واحدة في الثانية من إشارة نبضة واحدة في الثانية تفاضلية مقاومتها 100 أوم متوازنة ويمكن استخدامها للتوصيل بالميقاتية التالية أو بمعدات القياس.



الشكل 1.A – السطح البيني المتوازن 1PPS V.11

1.1.A إشارات السطح البيني

تعرَّف إشارات هذا السطح البيني في هذه الفقرة على النحو التالي:

- 1PPS_OUT+/1PPS_OUT-: يشير زوج إشارة الخرج هذا إلى الحدث ذي الدلالة الذي يحدث على الحافة الأمامية للإشارة والذي تولده ضابطة الوقت.
- 1PPS_IN+/1PPS_IN-: يشير زوج إشارة الدخل هذا إلى الحدث ذي الدلالة الذي يحدث على الحافة الأمامية للإشارة والذي تستخدمه ميقاتية الوقت المضبوطة.
- TX+/TX-: يُستخدم زوج إشارة الخرج هذا في قناة اتصال تسلسلية لنقل رسائل الوقت ورسائل الحالة بين ميقاتية الوقت الضابطة وميقاتية الوقت المضبوطة.
- RX+/RX-: يُستخدم زوج إشارة الدخل هذا في قناة اتصال تسلسلية لنقل الرسائل بين ميقاتية الوقت الضابطة وميقاتية الوقت المضبوطة.

ويرد تعريف الموصل في التوصية [ITU-T G.703] التي توصَّف الجوانب المادية لهذا السطح البيني.

ويتطلب التوصيل استعمال كبل متصالب يوصل أزواج الإشارات على النحو الموصَّف في الجدول 1.A.

الجدول 1.A – توصيلات الكبل

الموصل A	الموصل B
1PPS_OUT+/1PPS_OUT-	1PPS_IN+/1PPS_IN-
1PPS_IN+/1PPS_IN-	1PPS_OUT+/1PPS_OUT-
TX+/TX-	RX+/RX-
RX+/RX-	TX+/TX-
ملاحظة – لن تلزم بالضرورة جميع الإشارات الواردة في الجدول 1.A في الوقت نفسه (على سبيل المثال، قد يكتفى باتجاه واحد فقط في بعض الحالات). ويحتاج الاتجاه العكسي لقناة الرسائل إلى مزيد من الدراسة.	

2.1.A التعويض التلقائي عن تأخير الكبل (اختياري)

يمكن اختيارياً أن يدعم السطح البيني 1PPS ITU-T V.11 التعويض التلقائي عن تأخير الكبل. ويضيف السطح البيني 1PPS ITU-T V.11 المعزز دعماً للتعويض التلقائي عن الكبل ومرسل–مستقبل ITU-T V.11 نبضة واحدة في الثانية إيتو–T V.11 عن الكبلات الأوتوماتية وإيتو–T V.11 باستخدام حلقة التغذية العكسية التي تسمح للوقت الضابط بقياس تأخر إشارة نبضة واحدة في الثانية ذهاباً وإياباً وتعويض التأخر في المسير عند توليد إشارة نبضة واحدة في الثانية.

وتولد ضابطة التوقيت إشارة نبضة واحدة في الثانية في البداية عند حدود 1 ثانية، T1. وتتأخر هذه الإشارة عبر الكبل قبل وصولها إلى التوقيت المضبوط. وتعاد إشارة نبضة واحدة في الثانية ضمن الميقاتية المضبوطة وترسَل إلى ضابطة التوقيت. ويلتقط الوقت الضابط وقت استقبال إشارة نبضة واحدة في الثانية من الوقت المضبوط، T2، ويقيس التأخير ذهاباً وإياباً على أنه الوقت منذ توليد إشارة نبضة واحدة في الثانية.

وبافتراض أن المسار متناظر، يحسب ضابط الوقت متوسط تأخير الكبل على النحو التالي: 2/(T1 – T2) ويعوض عن تأخير الكبل إما بتقديم إشارة نبضة واحدة في الثانية بقيمة متوسط تأخير الكبل أو بإبلاغ الوقت المضبوط عن متوسط تأخير الكبل من خلال قناة الاتصالات التسلسلية ITU-T V.11 بحيث يمكن للميقاتية المضبوطة القيام بالتعويض.

ويعرَّف البروتوكول المستعمل في قناة الاتصالات التسلسلية في الفقرة 3.1.A أدناه. ويقوم الوقت المضبوط بإعادة إشارة نبضة واحدة في الثانية إلى مصدرها في نقطة ما بعد مرسل–مستقبل ITU-T V.11.

3.1.A قناة الاتصالات التسلسلية

1.3.1.A خصائص الإرسال

تنطبق الخصائص التالية على قناة الاتصالات التسلسلية:

1 المعدل الافتراضي للبتات في الثانية هو 9600، دون التحقق من التكافؤ.

2 عندما تُرسل كل بيانات البايتة، يجب أن تتضمن بتة بداية واحدة يرمز إليها بمستوى جهد منخفض، وبيانات ثماني بتات، وبتة نهاية واحدة يرمز إليها بمستوى جهد عال. وأثناء الفاصل الزمني الخالي من البيانات، يجب أن تبقى في مستوى الجهد العالي.

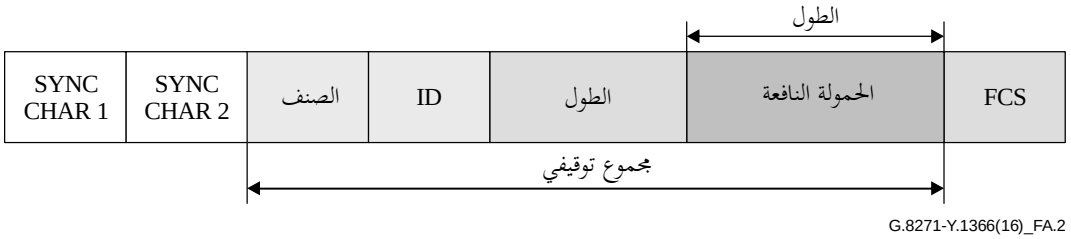
3 ينبغي عدم إرسال بيانات الرسالة قبل انقضاء 1 ms تلي ارتفاع حافة نبضة واحدة في الثانية ويجب أن ينتهي في غضون 500 ms.

4 تمثل الرسالة الوقت الذي تبدأ عنده النبضة الواحدة في الثانية الحالية.

5 ينبغي إرسال الرسائل مرة واحدة في الثانية.

2.3.1.A هيكل الرسالة

يعرَّف هيكل الرسالة في الشكل 2.A:



الشكل 2.A – هيكل رسالة الوقت خلال اليوم (TOD)

وكل رسالة هي ثماني بتات (أثمونات) متعددة مشفوعة بتتابع تحقق من الإطار (FCS). ويُتعرف على الرسائل من خلال صنف (CLASS) الرسالة وهوية (ID) الرسالة. وينبغي أن يلتزم ترتيب إرسال الأثمونات داخل الحقول متعددة الأثمونات بقواعد "ترتيب البايتات الكبيرة"، أي من الأثمون الأكثر دلالة أولاً إلى الأثمون الأقل دلالة أخيراً. وينبغي أن يكون إرسال البتات داخل الأثمون الواحد من البتة 0 إلى البتة 7. وينبغي أن يبدأ إرسال الحمولة النافعة من التخالف 0 (انظر الجداول 3.A و5.A و7.A).

ويمكن إرسال رسائل متعددة على قناة الاتصالات التسلسلية. ويمكن إرسال الرسائل إما دون تأخير بين الرسائل أو بتأخير غير صفري بين الرسائل. ولكن يجب إكمال إرسال جميع الرسائل خلال الفترة الزمنية المشار إليها في الفقرة 1.3.1.A.

وفيما يلي تفسير كل حقل من حقول الرسائل:

1 بداية الرسالة

تحتوي بداية الرسالة على اثنين من الأثمونات: SYNC CHAR 1 وSYNC CHAR 2. ويُستخدم هذان الأثمونان لمواءمة الرسالة. وقد أعطيت قيمة مشتركة هي 0x43 و0x4D لكل أثمون يمثل حرفي "C" و"M" على التوالي من حروف ASCII.

2 الرأسية

تتضمن رأسية الرسالة الحقلين الفرعيين الصنف (CLASS) (أثمون واحد) وهوية (ID) الرسالة (أثمون واحد). ويعرض CLASS النوع الأساسي للرسالة. وتشفَّر ID كنوع فرعي لكل صنف من الرسائل.

3 الطول

يحتوي حقل الطول على أثمونين يبينان طول الحمولة النافعة (دون أن يشمل ذلك طول Sync Char 1 وSync Char 2 والرأسية، وحقل الطول وFCS).

4 الحمولة النافعة

يحتوي حقل الحمولة النافعة على محتويات الرسالة. وقد يختلف هذا الحقل في الطول، حسب نوع الرسالة.

5 تتابع التحقق من الإطار (FCS)

لتتابع التحقق من الإطار (FCS) أثمون واحد.ويتضمن المجموع التدقيقي رأسية الرسالة، والطول، والحمولة النافعة وحقل FCS. ومتعدد الحدود المستخدم لتوليد FCS هو $G(x) = x^8 + x^5 + x^4 + 1$. وينبغي إسناد القيمة الأولية 0xFF للحقل. وينبغي أن تستخدم عملية الإزاحة نحو اليمين. وينبغي ألا تُعكَس بتة قيمة المدخلات والمخرجات. وينبغي أن يتبع إرسال الأثمون ترتيب البتات نفسه في أثمونات البيانات الأخرى.

3.3.1.A محتويات الرسالة

هناك ثلاثة أنواع من الرسائل المعرَّفة في قناة الاتصال التسلسلي للسطح البيني 1PPS V.11:

- رسالة حدث زمني – الختم الزمني ومعلومات إمكانية التتبع الأساسية
  وعادة ما تُرسَل هذه الرسالة بواسطة جميع أنواع الميقاتيات باستعمال هذا السطح البيني.
- رسالة إعلان الوقت – رسالة إعلان افتراضية وفق بروتوكول الوقت الدقيق
  وعادة ما تُرسَل هذه الرسالة بواسطة ميقاتية بروتوكول الوقت الدقيق.
- رسالة حالة النظام العالمي للملاحة الساتلية – تقدم معلومات عن حالة مستقبل توقيت النظام العالمي للملاحة الساتلية
  وعادة ما تُرسَل هذه الرسالة بواسطة ميقاتية قائمة على النظام العالمي للملاحة الساتلية.

رسالة حدث زمني

تُستخدم هذه الرسالة لإصدار الوقت خلال اليوم عبر السطح البيني 1PPS V.11.

الجدول 2.A – رسالة حدث زمني

الاسم	رسالة حدث زمني						
الوصف	معلومات حدث زمني						
النوع	تبلَّغ كل ثانية						
هيكل الإطار	Sync Char 1	Sync Char 2	الصنف	الهوية	الطول	الحمولة النافعة	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x01	0x000E	انظر الجدول 3.A	انظر الفقرة 2.3.1.A

الجدول 3.A – الحمولة النافعة لرسالة حدث زمني

تخالف	الطول (بالأثمونات)	الاسم	ملاحظات
0	6	الوقت	ثواني PTP (عدد صحيح من 48 بتة بدون إشارة جبرية)
6	1	محجوز	محجوز
7	1	أعلام	البتة 0: leap61 – في انتظار الثانية الكبيسة الموجبة البتة 1: leap59 – في انتظار الثانية الكبيسة السالبة البتة 2: تخالف UTC صالح البتة 3: محجوزة البتة 4: timeTraceable – وقت يمكن تتبعه إلى معيار الوقت الأساسي البتة 5: frequencyTraceable – تردد يمكن تتبعه إلى معيار التردد الأساسي البتتان 6 و7: محجوزتان
8	2	currentUTCOffset	القيمة الحالية للتخالف بين TAI وUTC (أي TAI – UTC)
10	4	محجوز	محجوز

رسالة إعلان الوقت

تُستخدم هذه الرسالة لإصدار جودة وقابلية تتبع الوقت المقدَّم عبر السطح البيني PPS V.11 للمعدات التي تحتوي على ميقاتية بروتوكول الوقت الدقيق.

أما استخدام هذه الرسالة على السطح البيني لمخرجات ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية فيحتاج إلى مزيد من الدراسة، إلا إذا كانت المعدات التي تحتوي على ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية تحتوي أيضاً على الضابطة الكبرى للاتصالات.

وحقول هذه الرسالة هي نسخ مباشرة من الحقول المعادلة المسماة لرسالة إعلان وفق بروتوكول الوقت الدقيق، على النحو الموضح في المرجع [IEEE 1588]. ويمكن أن تعالج ميقاتية بروتوكول الوقت الدقيق التي تستقبل معلومات الوقت خلال اليوم هذه المعلومات على أنها قد استقبلت على منفذ افتراضي لبروتوكول الوقت الدقيق وفقاً لملف تعريف بروتوكول الوقت الدقيق ذي الصلة (في التوصية [ITU-T G.8275.1]، على سبيل المثال).

الجدول 4.A – رسالة إعلان الوقت

الاسم	رسالة إعلان الوقت						
الوصف	تقدم معلومات عن نوعية وإمكانية تتبع مصدر الوقت، بما يعادل المعلومات الواردة في رسالة إعلان وفق بروتوكول الوقت الدقيق.						
النوع	تبلَّغ كل ثانية						
هيكل الإطار	Sync Char 1	Sync Char 2	الصنف	الهوية	الطول	الحمولة النافعة	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x02	0x0020	انظر الجدول 5.A	انظر الفقرة 2.3.1.A

الجدول 5.A – الحمولة النافعة لرسالة إعلان الوقت

تخالف	الطول (بالأثمونات)	الاسم	ملاحظات
0	1	versionPTP	رقم إصدار PTP
1	1	domainNumber	رقم ميدان PTP
2	2	flagField	حقل عَلَم PTP
4	8	sourcePortIdentity.clockIdentity	هوية الميقاتية المرسِلة
12	2	sourcePortIdentity.portNumber	رقم منفذ PTP الافتراضي المرسِل
14	1	grandmasterPriority1	قيمة الأولوية 1 لضابطة PTP
15	1	grandmasterPriority2	قيمة الأولوية 2 لضابطة PTP
16	1	grandmasterClockQuality. clockClass	صنف الميقاتية الضابطة وفق PTP
17	1	grandmasterClockQuality. clockAccuracy	دقة الميقاتية الضابطة وفق PTP
18	2	grandmasterClockQuality offsetScaledLogVariance	تغاير offsetScaledLogVariance للميقاتية الضابطة وفق PTP
20	8	grandmasterClockIdentity	هوية الميقاتية الضابطة وفق PTP
28	2	stepsRemoved	الخطوات المحذوفة من ضابطة PTP
30	1	timeSource	نوع مصدر الوقت الذي تقدمه ضابطة PTP
31	1	محجوز	محجوز
ملاحظة – نُسخ ذلك مباشرة من حقل العلم (flagfield) في جزء رأسية رسالة الإعلان وفق بروتوكول الوقت الدقيق، على الرغم من أن بعض الأعلام غير ذات صلة.			

رسالة حالة النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS)

تُستخدم هذه الرسالة لإصدار حالة مستقبلات النظام العالمي للملاحة الساتلية أو تنبيهاتها عبر السطح البيني PPS V.11 لميقاتية الوقت المرجعي الأساسية. ولا تنتجها عادة ميقاتية بروتوكول الوقت الدقيق، إلا إذا كانت موجودة في معدات مماثلة لمستقبِل توقيت النظام العالمي للملاحة الساتلية.

الجدول 6.A – رسالة حالة النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS)

الاسم	رسالة حالة GNSS						
الوصف	الحالة الراهنة لمستقبِل توقيت GNSS						
النوع	تبلَّغ كل ثانية						
هيكل الإطار	Sync Char 1	Sync Char 2	الصنف	الهوية	الطول	الحمولة النافعة	FCS
	0x43	0x4D	0x01	0x03	0x0008	انظر الجدول 7.A	انظر الفقرة 2.3.1.A

الجدول 7.A – الحمولة النافعة لرسالة حالة النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS)

تخالف	الطول (بالأثمونات)	الاسم	ملاحظات
0	1	أنواع مصدر الوقت	0x00: Beidou (Compass) 0x01: GPS 0x02: PTP 0x03: Galileo 0x04: Glonass 0x05: QZSS 0x06: IRNSS 0x07: GNSS (توليفة كوكبات) 0x08: مجهول (في حالة غياب معلومات عن ماهية المقياس الزمني للنظام العالمي للملاحة الساتلية الذي يستخدم حقاً وغياب أي إجراء ممكن لإجبار الوحدة على العمل مع مقياس زمني محدد للنظام العالمي للملاحة الساتلية) 0x09 ~ 0Xff: محجوز
1	1	حالة مصدر الوقت	نوع تثبيت GNSS: 0x00: بلا تثبيت 0x01: تقديري حصراً 0x02: تثبيت ثنائي الأبعاد (2D) 0x03: تثبيت ثلاثي الأبعاد (3D) 0x04: GNSS + تثبيت تقديري معاً 0x05: تثبيت الوقت حصراً 0x06: A-GNSS 0x07: GNSS + SBAS 0x08: GNSS + GBAS 0x09 ~ 0xFF: محجوز

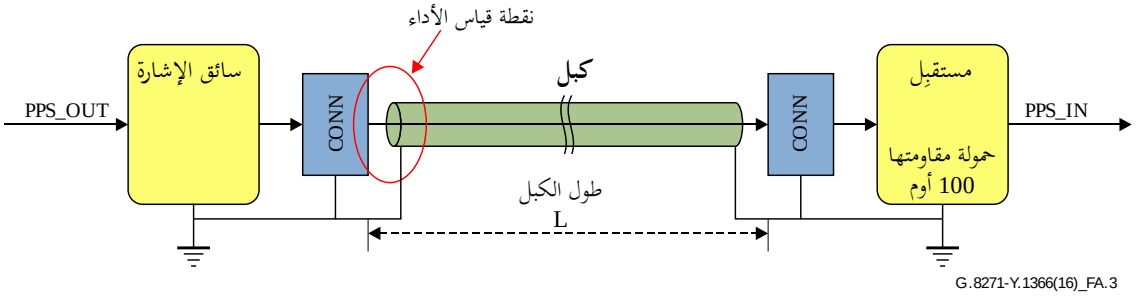
الجدول 7.A – الحمولة النافعة لرسالة حالة النظام العالمي للملاحة الساتلية (GNSS)

تخالف	الطول (بالأثمونات)	الاسم	ملاحظات
3	2	مراقب حالة التنبيه	حالة تنبيه مصدر الوقت: البتة 0: غير مستخدَمة البتة 1: دارة الهوائي مفتوحة البتة 2: قِصَر في دارة الهوائي البتة 3: ليست سواتل تتبع البتة 4: غير مستخدَمة البتة 5: استطلاع جارٍ البتة 6: لا يوجد موضع مخزَّن البتة 7: في انتظار ثانية كبيسة البتة 8: في وضع اختبار البتة 9: حل GNSS (أي اشتقاق الموضع والوقت) غير مؤكد البتة 10: غير مستخدَمة البتة 11: التقويم غير كامل البتة 12: تولُّد PPS البتة 13 ~ البتة 15: محجوزة
4	4	محجوز	محجوز

2.A السطح البيني لقياس تزامن طور نبضة واحدة في الثانية (1PPS) مقاومتها 50 Ω

يتكون السطح البيني لنبضة واحدة في الثانية من إشارة نبضة واحدة في الثانية غير متوازنة مقاومتها 50 أوم يمكن استخدامها للتوصيل بمعدات القياس (انظر الشكل 3.A).

وتعرف الخصائص الفيزيائية لهذا السطح البيني في التوصية [ITU-T G.703].



الشكل 3.A – السطح البيني لقياس نبضة واحدة في الثانية (1PPS) مقاومتها 50 Ω

ويجب أن يعوض النظام عن التأخرات الداخلية في النظام لضمان الإيفاء بتوقيت إشارة نبضة واحدة في الثانية عند حافة الصندوق.

ويُتوقع أن تعوض معدات القياس عن التأخرات المرتبطة بالتوصيل البيني للسطح البيني لنبضة واحدة في الثانية.

التذييل I

مصادر ضوضاء الوقت والطور في سلاسل توزيع الوقت

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

يُعتبر التحديد الكمي لمصادر الأخطاء في سلسلة توزيع الوقت ضرورياً في عملية تحديد ميزانية الضوضاء في النموذج المرجعي للشبكة.

وتستند مصادر الأخطاء المدرجة في هذا التذييل إلى شبكة ذات دعم توقيت كامل تقدمه الميقاتيات الحدودية للاتصالات

وفي حالة عدم وجود دعم توقيت في بعض العقد (أو في جميع العقد)، ينبغي النظر في مصادر إضافية للضوضاء. ويحتاج ذلك لمزيد من الدراسة.

ومصادر الضوضاء الناجمة عن دعم التوقيت الذي تقدمه الميقاتيات الشفافة للاتصالات تحتاج أيضاً إلى مزيد من الدراسة.

1.I الضوضاء الناجمة عن ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية (PRTC)

يقدم الجدول أدناه مصادر الأخطاء في ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية.

	مصدر الخطأ	الشرح/الافتراضات
1	خطأ الوقت المرجعي	انظر الفقرة 1.7.I

2.I الضوضاء الناجمة عن وظيفة ميقاتية ضابطة للرزمة

يقدم الجدول أدناه مصادر الأخطاء في وظيفة ميقاتية ضابطة للرزمة. ويمكن أن تكون وظيفة ميقاتية ضابطة للرزمة جزءاً من الضابطة الكبرى للاتصالات أو الميقاتية الحدودية للاتصالات.

	مصدر الخطأ	الشرح/الافتراضات
1	عدم تناظر كمون بروتوكول الطبقة المادية (PHY) الداخلي بالنسبة للعقد	انظر الفقرة 2.7.I

3.I الضوضاء الناجمة عن وظيفة ميقاتية مضبوطة للرزمة

يقدم الجدول الوارد أدناه مصادر الأخطاء في وظيفة ميقاتية مضبوطة للرزمة. ويمكن أن تكون وظيفة ميقاتية مضبوطة للرزمة جزءاً من الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC) أو الميقاتية الحدودية للاتصالات (T-BC).

	مصدر الخطأ	الشرح/الافتراضات
1	ضوضاء طور مذبذب محلي	انظر الفقرة 4.7.I
2	عدم تناظر كمون بروتوكول الطبقة المادية (PHY) الداخلي بالنسبة للعقد	انظر الفقرة 2.7.I
3	مدى تجزئة الختم الزمني	انظر الفقرة 3.7.I
4	خطأ طور المرجع الترددي	انظر الفقرة 5.7.I
5	ظواهر زمنية عابرة	انظر الفقرة 6.7.I

4.I الضوضاء الناجمة عن ميقاتية شفافة للاتصالات

إن مصادر الخطأ في ميقاتية شفافة للاتصالات تحتاج لمزيد من الدراسة.

5.I الضوضاء الناجمة عن وصلة

يقدم الجدول أدناه مصادر الأخطاء في وصلة.

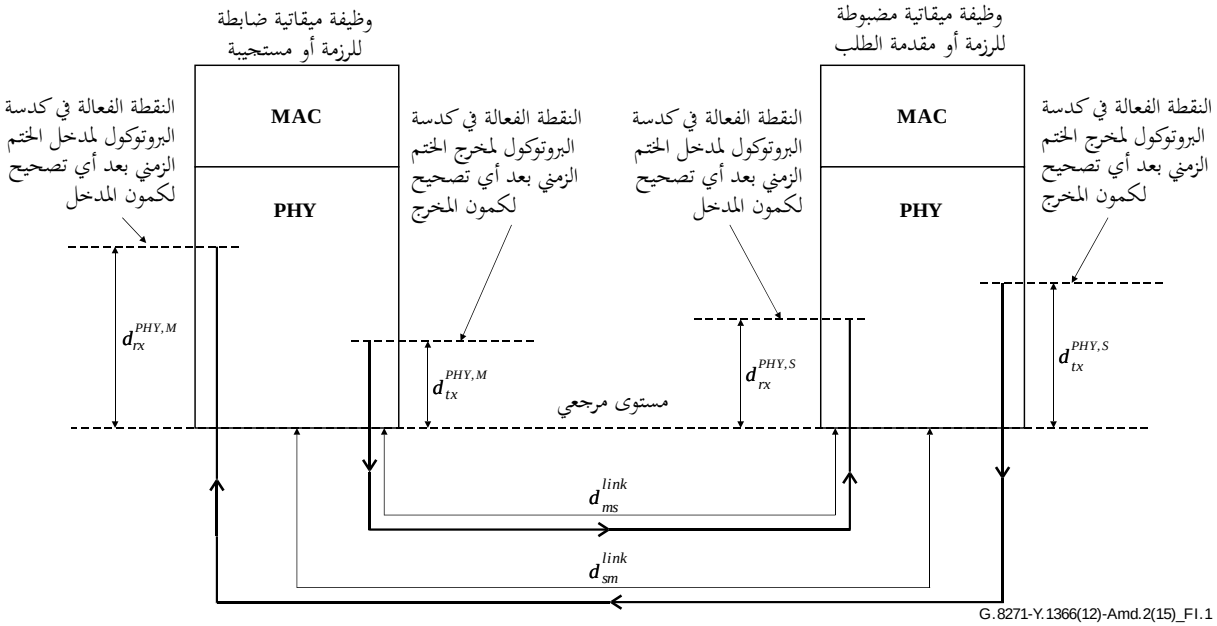
	مصدر الخطأ	الشرح/الافتراضات
1	عدم تناظر الوصلة	انظر الفقرة 7.7.I

6.I اشتقاق عدم تناظر التأخير

يوضح الشكل 1.I التأخيرات بين وظيفة ميقاتية مضبوطة للرزمة أو مقدمة الطلب (يشار إليها بالمضبوطة طوال هذه الفقرة) ووظيفة ميقاتية ضابطة للرزمة أو مستجيبة (يشار إليها بالضابطة طوال هذه الفقرة). ويقاس التأخير المتوسط للانتشار عند المضبوطة بعد تبادل رسائل الحدث. وإذا استُخدم طلب التأخير وآلية الاستجابة للتأخير (انظر المرجع [IEEE 1588])، ترسل المضبوطة طلب تأخير (Delay_Req) وترسل الضابطة استجابة للتأخير (Delay_Resp) وترسل بشكل منفصل رسالتي تزامن (Sync) ومتابعة (Follow_Up) (أي أن إرسال Sync وFollow_Up ليس جزءاً من تبادل Delay_Req/Delay_Resp؛ ولا ترسَل رسالة المتابعة (Follow_Up) إلا إذا كانت الميقاتية ذات خطوتين حصراً). وإذا استُخدمت آلية تأخير الأقران (انظر المرجع [IEEE 1588])، ترسل المضبوطة طلب تأخير الأقران (Pdelay_Req) وترسل الضابطة استجابة لتأخير الأقران (Pdelay_Resp)، وإذا كانت الميقاتية ذات خطوتين، ترسل متابعة لاستجابة لتأخير الأقران (Pdelay_Resp_Follow_Up).

ويوضح الشكل النقاط الفعالة في رزمة البروتوكول لكل ميقاتية تتولد فيها الأختام الزمنية، بعد إجراء أي تصحيحات لكمونات الدخول والخروج (انظر الفقرة 4.3.7 والشكل 19 في المرجع [IEEE 1588]). وفي الحالة المثالية، تقع هذه النقاط في المستوي المرجعي، أي النقطة الحدودية بين الطبقة المادية والوسط المادي للشبكة. بيد أن التصحيحات لكمونات الدخول والخروج ليست مثالية في الممارسة العملية، وتختلف النقاط الفعالة التي تتولد فيها الأختام الزمنية عن المستوي المرجعي. ويشار إلى التأخيرات بين النقاط الفعالة التي تؤخذ فيها الأختام الزمنية والمستوي المرجعي برمزي $d_{tx}^{PHY,M}$ و$d_{rx}^{PHY,M}$ للخروج والدخول، على التوالي، عند الضابطة، وبرمزي $d_{tx}^{PHY,S}$ و$d_{rx}^{PHY,S}$ للخروج والدخول، على التوالي، عند المضبوطة. وفي هذا الترميز، تُستعمل اللاحقة السفلية t (الإرسال) للخروج وتُستعمل اللاحقة السفلية r (الاستقبال) للدخول. وبصفة عامة، يمكن أن تكون هذه الكميات الأربعة مختلفة.

ويبين الشكل أيضاً تأخيرات الوصلة التي تقاس من المستوي المرجعي لميقاتية واحدة إلى المستوي المرجعي للميقاتية الأخرى. ويشار إلى التأخير من الضابطة إلى المضبوطة برمز d_{ms}^{link}، ويشار إلى التأخير من المضبوطة إلى الضابطة برمز d_{sm}^{link}.



الشكل 1.I – توضيح للتأخيرات بين وظيفة ميقاتية مضبوطة للرزمة أو مقدمة الطلب ووظيفة ميقاتية ضابطة للرزمة أو مستجيبة

مجموع التأخير من الضابطة إلى المضبوطة، t_{ms}، هو مجموع التأخير في ذلك الاتجاه:

$$t_{ms} = d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S} \quad \text{(1-I)}$$

وبالمثل، فإن مجموع التأخير من المضبوطة إلى الضابطة، t_{sm}، هو مجموع التأخير في ذلك الاتجاه:

$$t_{sm} = d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M} \quad \text{(2-I)}$$

وفيما يتعلق باصطلاح إشارة عدم التناظر في التأخير، يُعتمد نفس اصطلاح الوارد في الفقرة 2.4.7 من المرجع [IEEE 1588]. ويرمز D_{mean} إلى متوسط التأخر في المسير المقيس (أي النتيجة المقيسة لتبادل Delay_Req وDelay_Resp أو رسائل تأخير النظير)، ويرمز D_{asym} إلى عدم التناظر التأخير الكلي. عندئذ، يعرَّف D_{asym} بأنه موجب عندما يكون التأخير من الضابطة إلى المضبوطة أكبر من التأخير من المضبوطة إلى الضابطة. وبالمثل، يعرَّف D_{asym} بأنه سالب عندما يكون التأخير من الضابطة إلى المضبوطة أصغر من التأخير من المضبوطة إلى الضابطة. إذن:

$$\begin{aligned} t_{ms} &= D_{mean} + D_{asym} \\ t_{sm} &= D_{mean} - D_{asym} \end{aligned} \quad \text{(3-I)}$$

وتعني المعادلتان (3-I) ضمناً ما يلي:

$$D_{mean} = \frac{t_{ms} + t_{sm}}{2} \quad \text{(4-I)}$$

كما هو مطلوب. وتعطي الاستعاضة عن المعادلتين (1-I) و(2-I) في المعادلة (4-I) ما يلي:

$$D_{mean} = \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \quad \text{(5-I)}$$

ويمكن استخدام أي من المعادلتين (3-I) مع المعادلة (4-I) للحصول على عدم التناظر في التأخير بدلالة تأخرات المكون. يؤدي استخدام أولى المعادلتين (3-I) إلى:

$$\begin{aligned} D_{asym} &= t_{ms} - D_{mean} \\ &= (d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) - \frac{(d_{tx}^{PHY,M} + d_{ms}^{link} + d_{rx}^{PHY,S}) + (d_{tx}^{PHY,S} + d_{sm}^{link} + d_{rx}^{PHY,M})}{2} \\ &= \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} + \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} + \frac{d_{rx}^{PHY,S} - d_{tx}^{PHY,S}}{2} \\ &= e_{phy}^{M} + e_{link-asym} - e_{phy}^{S} \end{aligned} \tag{6-I}$$

حيث:

$$e_{phy}^{M} = \frac{d_{tx}^{PHY,M} - d_{rx}^{PHY,M}}{2} \tag{7-I}$$

$$e_{link-asym} = \frac{d_{ms}^{link} - d_{sm}^{link}}{2} \tag{8-I}$$

$$e_{phy}^{S} = \frac{d_{tx}^{PHY,S} - d_{rx}^{PHY,S}}{2} \tag{9-I}$$

والمعادلتان (7-I) و(9-I) هما الأخطاء الناجمة عن عدم تناظر الكمون في الضابطة والمضبوطة على التوالي. أما المعادلة (8-I) فهي الخطأ الناجم عن عدم تناظر الوصلة. وتبين المعادلة (6-I)، عند حساب عدم التناظر الكلي، أن الأخطاء الناجمة عن كمون الطبقة المادية في الضابطة وتلك الناجمة عن الوصلة هي أخطاء تُجمع، في حين يُطرح الخطأ الناجم عن كمون الطبقة المادية في المضبوطة.

7.I خصائص مصادر الضوضاء

لكل من مصادر الضوضاء المحددة في الفقرات السابقة خصائص مختلفة من حيث النمذجة والتراكم. وكمثال على ذلك، يمكن تحليل الضوضاء الناجم عن الميقاتية الحدودية للاتصالات المتسلسلة وفقاً للنهج التقليدي المتبع في قطاع تقييس الاتصالات لسلسلة من الميقاتيات.

وتحلل الفقرات التالية مصادر الضوضاء المدرجة في الجدول أعلاه.

1.7.I خطأ الوقت المرجعي

تستقبل وظيفة الميقاتية الضابطة للرزمة في الضابطة الكبرى للاتصالات وقتاً مرجعياً لتوزيعه. ويمكن أن يعزى الخطأ إلى:

خطأ وقت النظام العالمي للملاحة الساتلية. وقد يشوب خطط التوزيع التي تستخدم أنظمة مختلفة للنظام العالمي للملاحة الساتلية (مثل النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) وكذلك غاليليو (Galileo) المستقبلي) خطأ وقت متأصل فيها بسبب الاختلاف بين مجموعات الميقاتية الذرية التي تقود الأنظمة.

قيود تنفيذ النظام العالمي للملاحة الساتلية. يمكن لمستقبل النظام العالمي للملاحة الساتلية أن ينتج إشارة زمنية ذات تخالف من مستقبل آخر للنظام النظام العالمي للملاحة الساتلية يستخدم النظام الساتلي نفسه.

ويطبق مصدر الضوضاء هذا على ميقاتية الوقت المرجعي الأساسية فقط.

وتحتاج طريقة نمذجة مصدر الضوضاء، e_{ref}، لمزيد من الدراسة.

2.7.I التباين وعدم التناظر في كمون الطبقة المادية

يتصل مصدر الضوضاء هذا بوظيفة الختم الزمني للعتاد، أي الفرق بين نقطة قياس الختم الزمني والسطح البيني للواسطة (على سبيل المثال، يحدد 802.3bf القيم الدنيا والقصوى للإرسال والاستقبال الممكنة لكل طبقة مادية تدعم 802.3bf). ومن أجل التنفيذ السليم، يتراوح ذلك عادة في نطاق النانو ثواني. ويعرَّف عدم التناظر في كمون الطبقة المادية بالصيغة $(d_{tx}–d_{rx})/2$، حيث d_{tx} هو التأخير على مسير الإرسال وd_{rx} هو التأخير في مسير الاستقبال، على النحو المبين في الفقرة 6.I والشكل 1.I.

ويطبَّق مصدر الضوضاء هذا على وظيفة الميقاتية الضابطة للرزمة (في الضابطة الكبرى للاتصالات أو الميقاتية الحدودية للاتصالات) ووظيفة الميقاتية المضبوطة للرزمة (في الميقاتية الحدودية للاتصالات أو في الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC)).

وتحتاج طريقة نمذجة مصدر الضوضاء، e_{phy}، لمزيد من الدراسة.

3.7.I مدى تجزئة الختم الزمني

يعتمد مدى تجزئة الختم الزمني على معدل ميقاتية الختم الزمني. وخطأ مدى تجزئة الختم الزمني محدود بمقدار الزيادة في عداد الختم الزمنية في المستقبِل، $T_{ts,rx}$:

$$0 \le e_{ts} < T_{ts,rx} \tag{10-I}$$

وإذا كان معدل ميقاتية الختم الزمني عند المستقبِل من مضاعفات عدد صحيح/مضاعفته الفرعية للمعدل عند المرسل، يمكن رصد تأثير الخفقان، ويكاد يكون الخطأ e_{ts} ساكناً ويتعذر تخفيضه باصطفاء التمرير المنخفض المتأصل في العرى محكومة الطور. وإذا كانت المعدلات أساسية نسبياً يصبح الخطأ e_{ts} عشوائياً وينمذَج جيداً كضوضاء بيضاء (طيف مسطح).

ويطبَّق مصدر الضوضاء هذا على قياسات وقت الورود عند ضابطة الرزمة ومضبوطة الرزمة. ويمكن أن ينطبق النموذج نفسه على قياسات وقت المغادرة.

4.7.I ضوضاء طور المذبذب المحلي

تستعمل وظيفة الميقاتية المضبوطة للرزمة بيانات توقيت الضابطة كمرجع لتصفية ضوضاء الطور المرجعي المحلي، بحيث تنتج خطأ زمنياً صغيراً قدر الإمكان. وكلما كان المذبذب المحلي أفضل، انخفضت الضوضاء التي ينتجها. وتتعذر تصفية ضوضاء الطور كلها.

ويطبق مصدر الضوضاء هذا على وظيفة الميقاتية المضبوطة للرزمة (في الميقاتية الحدودية للاتصالات أو في الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC)) عندما يسترد التردد من رسائل بروتوكول الوقت الدقيق (أي في غياب دعم لتزامن الترددات في الطبقة المادية).

وتحتاج طريقة نمذجة مصدر الضوضاء، e_{φ}، لمزيد من الدراسة.

5.7.I خطأ الطور المرجعي للتردد

يمكن أن تستخدم وظيفة الميقاتية المضبوطة للرزمة (في الميقاتية الحدودية للاتصالات أو في الميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC)) مرجعاً ترددياً خارجياً بدلا من مذبذبها المحلي للمساعدة في استعادة الوقت. وستكون خصائص توقيت مرجع التردد أفضل بكثير من المذبذب المحلي، لكنها لن تكون مثالية.

وينطبق مصدر الضوضاء هذا على الميقاتية المضبوطة للرزمة.

ويعرَّف مصدر الضوضاء هذا، e_{syncE}، بحدود الشبكة الواردة في الفقرة 2.9 من التوصية [ITU-T G.8261]. وتحتاج طريقة نمذجة مصدر الضوضاء هذا لمزيد من الدراسة.

6.7.I الظواهر الزمنية العابرة

يمكن أن تسبب البدالات المرجعية أو الانقطاعات القصيرة ظواهر زمنية عابرة. ويمكن لعطل في الضابطة الكبرى أو في وصلة أن يسفر عن إعادة ترتيب الشبكة. وخلال هذه الفترة، يمكن أن يتراكم خطأ الوقت بسبب شكل ما من الخاصية الوظيفية للاستبقاء.

وينطبق مصدر الضوضاء هذا على الميقاتية المضبوطة للرزمة.

وتحتاج طريقة نمذجة مصدر الضوضاء، $e_{transient}$، لمزيد من الدراسة.

7.7.I عدم تناظر الوصلة

تقوم بروتوكولات توقيت الرزمة (مثل بروتوكول وقت الشبكة وبروتوكول الوقت الدقيق) بقياس التأخر ذهاباً وإياباً عبر شبكة ما، أي التأخر من مخدِّم إلى عميل ورجوعاً (أو العكس). ثم يقدَّر التأخر في اتجاه واحد بافتراض أن التأخر الأمامي عبر شبكة هو نفس التأخر العكسي. ويسبب أي فرق بين التأخر الأمامي والعكسي (المعروف باسم عدم تناظر التأخر) خطأ في تقدير تخالف ميقاتية العميل من المخدِّم.

ويمكن لاستخدام دعم التوقيت الكامل (مثل الميقاتية الحدودية للاتصالات أو الميقاتية الشفافة للاتصالات في كل عقدة) أن يزيل عدم تناظر التأخر بسبب تنوع تأخر الرزمة (PDV) واختلاف حمولة الحركة على اتجاهي الحركة وعدم التناظر الناجم عن رزم تسلك مسيرات مختلفة في كل اتجاه (ولكن في هذه الحالة لن تُحَّل المشكلة بميقاتية شفافة من طرف إلى طرف)؛ غير أنه يعجز عن تصحيح عدم تناظر التأخر على وصلات من نقطة إلى نقطة بين عناصر الشبكة. وينشأ عدم التناظر هذا لأن المسارين الأمامي والعكسي يمران عبر ألياف مختلفة أو أزواج نحاسية في الكبل نفسه. وقد تكون لهذه الألياف أو الأزواج أطوال مختلفة وخصائص كهربائية أو بصرية مختلفة تكفي لخلق اختلافات في التأخر.

ويمكن أن يبلغ عدم تناظر التأخر الناجم عن وصلات الألياف عدة نانو ثوان لكل متر من الفرق في كل اتجاه. وعند استخدامه عبر وصلات الألياف المتعددة، يمكن أن يصبح حجم هذا الخطأ كبيراً بالنسبة إلى التفاوتات الضيقة جداً التي تتطلبها بعض التطبيقات قيد النظر.

ويعرَّف عدم تناظر الوصلة بالصيغة $(d_{ms}–d_{sm})/2$، حيث d_{ms} هو التأخر على المسير من الميقاتية الضابطة أو المستجيبة إلى الميقاتية المضبوطة أو مقدمة الطلب، وd_{sm} هو التأخر على المسير من الميقاتية المضبوطة أو مقدمة الطلب إلى الميقاتية الضابطة أو المستجيبة على النحو المبين في الفقرة 6.I والشكل 1.I.

وينطبق مصدر الضوضاء هذا على الوصلات.

وتحتاج طريقة نمذجة مصدر الضوضاء، $e_{link\text{-}asym}$، لمزيد من الدراسة.

8.7.I الخطأ في توزيع الوقت داخل عقدة

يرجع هذا الخطأ إلى تأخيرات داخلية مختلفة عند توزيع مرجع زمني من موقع مركزي في عقدة (بطاقة النظام على سبيل المثال) إلى مواقع أخرى في عقدة (بطاقة الخط على سبيل المثال،). ويمكن أن يعزى هذا الخطأ، على سبيل المثال، إلى طول آثار مستوي الموصلات، والموصلات، والوظائف المنطقية المختلفة.

ملاحظة – قد تكون هذه التأخيرات غير قابلة للتجاهل، وينبغي تنفيذ التصميم والتعويض على النحو الملائم.

ويعرَّف مصدر الضوضاء هذا بأنه $e_{intranode}$، وهو يحتاج إلى مزيد من الدراسة. ويطبق مصدر الضوضاء هذا على الضابطة الكبرى للاتصالات (T-GM) والميقاتية الحدودية للاتصالات والميقاتية المضبوطة لوقت الاتصالات (T-TSC).

8.I تراكم أخطاء الوقت في سلسلة ميقاتيات

يمكن اعتبار إجمالي خطأ الوقت كمجموع مكون خطأ الوقت الثابت ومكون خطأ الوقت الدينامي.

ملاحظة – يُفترض غياب مكوني التخالف الترددي والانجراف؛ وبالتالي، لا تُدرَج إلا المكونات العشوائية في خطأ الوقت الدينامي.

ولهذين المكونين خصائص مختلفة من حيث النمذجة والتراكم. انظر التذييل IV للتوصية [b-ITU-T G.8271.1] للاطلاع على مزيد من التفاصيل.

التذييل II

متطلبات تزامن الوقت والطور في التطبيق الطرفي

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

يلخص الجدول التالي المتطلبات الرئيسية المطبقة عند خرج التطبيق (على سبيل المثال، السطح البيني الراديوي في حالة التطبيق اللاسلكي).

الجدول 1.II – متطلبات الوقت والطور في التطبيق الطرفي

التطبيق/التكنولوجيا	الدقة	التوصيف
CDMA2000	±3 µs فيما يتعلق بوقت نظام CDMA الذي يستخدم المقياس الزمني لنظام GPS (الممكن تتبعه والمتزامن مع UTCباستثناء تصحيحات الثانية الكبيسة) ±10 µs فيما يتعلق بوقت نظام CDMA لفترة لا تقل عن 8 ساعات (عند فصل المصدر الخارجي لوقت نظام CDMA)	[b-3GPP2 C.S0002] الفقرة 3.1 [b-3GPP2 C.S0010] الفقرة 1.1.2.4
TD-SCDMA (أسلوبNodeB TDD)	3 µs كأقصى انحراف في أوقات بدء إطار بين أي زوج من الخلايا على التردد نفسه والذي يحتوي على مناطق تغطية متراكبة	[b-3GPP TS 25.123] الفقرة 2.7
WCDMA-TDD (أسلوب NodeB TDD)	في أسلوب TDD، لدعم التزامن والتسليم بين الخلايا، ويلزم مرجع توقيت مشترك بين عقد NodeB، ويجب ألا يتجاوز فرق الطور النسبي لإشارات التزامن عند منفذ دخل أي عقدة NodeB في المنطقة المتزامنة 2,5 µs	[b-3GPP TS 25.402] الفقرتان 2.1.6 و1.2.1.6
W-CDMA MBSFN	12,8 µs بالنسبة إلى خدمة MBMS عبر شبكة أحادية التردد حيث يزامَن إرسال NodeB عن كثب مع وقت مرجعي مشترك	[b-3GPP TS 25.346] الفقرتان 1A.7 و1.2.1B.7
LTE MBSFN	ذُكرت قيم <± 1 µs فيما يتعلق بمرجع زمني مشترك (مقياس زمني مستمر)	قيد الدراسة
W-CDMA (أسلوب NodeB TDD المحلي)	دقة بمستوى ميكرو ثانية (لم يُدرَج أي متطلب صارم)	[b-3GPP TR 25.866] الفقرة 8
WiMAX	1) يتعين تزامن أطر الوصلة الهابطة المرسلة بواسطة محطة القاعدة المخدِّمة ومحطة القاعدة المجاورة بمستوى لا يقل عن ثمن (⅛) طول البادئة الدورية *(الذي يساوي 1,428 µs)*. وفي محطة القاعدة، يتعين أن يتواءم الإطار الراديوي المرسَل زمنياً مع نبضة توقيت 1PPS 2) يتعين أن يتواءم التوقيت المرجعي لإرسال محطة القاعدة زمنياً مع نبضة توقيت 1PPS بدقة ±1 µs	[b-IEEE 802.16] الجدول 6-160 الفقرة 4.13.4.8 [b-WMF T23-001] الفقرة 2.2.4
LTE-TDD (محطة قاعدة لمنطقة واسعة)	3 µs للخلية الصغيرة (نصف قطرها < 3 km) 10 µs للخلية الكبيرة (نصف قطرها > 3 km) أقصى انحراف مطلق في توقيت بدء إطار بين أي زوج من الخلايا على التردد نفسه والذي يحتوي على مناطق تغطية متراكبة	[b-3GPP TS 36.133] الفقرة 2.4.7

الجدول 1.II – متطلبات الوقت والطور في التطبيق الطرفي

التطبيق/التكنولوجيا	الدقة	التوصيف
LTE-TDD (محطة قاعدة لمنطقة محلية)	1) 3 µs للخلية الصغيرة (نصف قطرها < 500 m). ولخلية كبيرة (نصف قطرها <500 m)، 1,33 + $T_{propagation}$ µs الفرق الزمني بين محطات القاعدة، حيث $T_{propagation}$ هو تأخر الانتشار بين محطة القاعدة المحلية والخلية المختارة كمصدر تزامن الاستماع إلى الشبكة. وفيما يتعلق باختيار مصدر التزامن لاستماع الشبكة، ينبغي اختيار أفضل مصدر تزامن دقيق لنظام GNSS. وإذا حصلت محطة قاعدة محلية على التزامن دون استخدام استماع الشبكة، ينطبق متطلب الخلية الصغيرة 2) المتطلب هو 3,475 µs ولكن في العديد من السيناريوهات يمكن اعتماد متطلب تزامن 3 µs	[b-3GPP TS 36.133] الفقرة 2.4.7 [b-3GPP TR 36.922] الفقرة 6.4.1.2
تسليم من LTE-TDD إلى CDMA 1xRTT وإلى HRPD	يجب أن تتزامن eNodeB مع وقت GPS. وعند فصل المصدر الخارجي لوقت نظام CDMA، على eNodeB الحفاظ على دقة التوقيت ضمن ±10 µs فيما يتعلق بوقت نظام CDMA لفترة لا تقل عن 8 ساعات	[b-TS 3GPP TS 36.133] الفقرة 1.2.5.7
LTE-A	تجري حالياً دراسة متطلبات الطور/الوقت للتطبيقات الواردة أدناه: • تجميع الموجات الحاملة • الإرسال المنسق إلى نقاط متعددة (المعروف أيضاً باسم شبكة MIMO) • وظيفة الترحيل	[b-TR 3GPP TS 36.814]
مراقبة تأخير شبكة IP	يعتمد هذا المتطلب على مستوى الجودة الذي تتعين مراقبته. وكمثال على ذلك، قد يُتطلب ±100 µs فيما يتعلق بمرجع زمني مشترك (مثل UTC). وذُكر أيضاً ±1 µs	**ملاحظة** – لا يوجد أي متطلب معياري بعد؛ بل إن المتطلبات تعتمد على المشغِّل (حسب التطبيق)
فوترة وتنبيهات	±100 µs فيما يتعلق بمرجع زمني مشترك (UTC على سبيل المثال)	

الملاحظة 1 – في حالة التطبيقات المتنقلة، يعبَّر عن المتطلبات عموماً بدلالة خطأ الطور بين محطات القاعدة. وفي حال وجود ضابطة مركزية، يمكن التعبير عن هذا المتطلب بأنه نصف متطلب الدقة المطبق على التكنولوجيا المحددة.

الملاحظة 2 – تصلح هذه المتطلبات عموماً أثناء الظروف العادية. وتحتاج المتطلبات المعمول بها خلال ظروف التعطل لمزيد من الدراسة.

الجدول 2.II – متطلبات الوقت والطور الأخرى

التطبيقات النمطية (للعلم)	متطلبات خطأ الوقت (الملاحظة 1)	التوصيف
تجميع الموجات الحاملة غير المتلاصقة داخل النطاق مع أو بدون تنوع MIMO أو TX، وتجميع الموجات الحاملة بين النطاقات مع أو بدون تنوع MIMO أو TX	ns 260	[b-3GPP TS 36.104] الفقرة 1.3.5.6
تجميع الموجات الحاملة غير المتلاصقة داخل النطاق مع أو بدون تنوع MIMO أو TX	ns 130	[b-3GPP TS 36.104] الفقرة 1.3.5.6
الخدمات القائمة على الموقع باستخدام OTDOA (الملاحظة 3)	ns 100	
إرسالات بتنوع MIMO أو TX على كل تردد في الموجة الحاملة	ns 65	[b-3GPP TS 36.104] الفقرة 1.3.5.6
المزيد من ميزات LTE-A الناشئة التي تتطلب تعاون هوائيات متعددة ضمن تكتل.	ns x (الملاحظة 2)	

الملاحظة 1 – يعبَّر عن المتطلب بدلالة الخطأ النسبي فيما يتعلق بمحطة قاعدة أخرى، ولكلتيهما المرجع نفسه.

الملاحظة 2 – تجري حالياً دراسة متطلبات الأداء الخاصة بمميزات LTE-A. وتحتاج قيمة x لمزيد من الدراسة.

الملاحظة 3 – 100 ns تدعم دقة الموقع بنحو 30–40 m عند استعمال OTDOA مع ما لا يقل عن ثلاث محطات قاعدة.

الملاحظة 4 – يعبَّر عن المتطلبات بدلالة الخطأ النسبي بين هوائيين (أي قطاعي محطة القاعدة)، ولكلاهما مرجع التوقيت نفسه. وعلى الرغم من أن متطلبات دقة الطور/الوقت بالنسبة إلى تكنولوجيا النفاذ المشروط (CA) وتعدد النقاط المنسق (CoMP) هي متطلبات عامة ولا تعرَّف لأي طوبولوجيا شبكية معينة، فإن هذا المستوى من ميزانية خطأ الطور يعني ضمناً أن الهوائيات التي تنطبق عليها المتطلبات عادة ما تشترك في موقع أو توصل بوحدة النطاق الأساسي (BBU) نفسها عبر وصلات مباشرة.

وتشمل الأصناف الأخرى من التطبيقات التي تتطلب تزامن دقيق للوقت والطور، الاتصالات من آلة إلى آلة (M2M) والإنترنت الصناعية (على سبيل المثال، النقل والمركبات الموصولة، وشبكات الكهرباء الذكية، والتجارة المالية، والأنظمة الطبية وأنظمة الرعاية الصحية عن بعد، والمراقبة المعززة للسلامة والأمن، وما إلى ذلك.). وتتوقف متطلبات التزامن الفعلية على خصوصية التطبيق، وهي تحتاج إلى مزيد الدراسة.

التذييل III

تعويض عدم التناظر عند استخدام أطوال موجة مختلفة

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

يتم الحصول على تعويض عدم التناظر الناجم عن استعمال أطوال موجة مختلفة بحساب تأخر المجموعة المنطبق على أطوال الموجات المستخدمة في الاتجاه الأمامي وفي الاتجاه العكسي.

وبالإشارة إلى عدم التناظر بالحرف A، ينطبق ما يلي:

$$A = d_f - d_r = L * (n_r - n_f)/c$$

حيث L هي المسافة، وc هي سرعة الضوء، وd_f وd_r هما تأخر الإرسال الأمامي والعكسي، وn_r وn_f هما مؤشرا انكسار المجموعة المطبقان في طول الموجة المستخدم في الاتجاه الأمامي والعكس، على التوالي.

ويمكن إجراء تقييم لمؤشري الانكسار إما باستخدام بيانات التشتت اللوني المعروفة (من صحيفة بيانات الألياف البصرية على سبيل المثال) أو، في حالة التشتت المجهول، بإجراء قياس مباشر للتأخر بثلاثة أطوال موجات مختلفة (ويمكن بعد ذلك أن يُشتق معامل الانكسار لطول موجة كيفي بالاستكمال التربيعي).

ويمكن عندئذ استعمال هذه البيانات لاستخلاص تأخر المجموعة لطول موجة عام. وعلى وجه الخصوص، يمكن حساب تأخر المجموعة عند أطوال الموجات المنطبقة في حالة الألياف البصرية المتوافقة مع توصية قطاع تقييس الاتصالات G.652 باستخدام معادلات سيلمير (Sellmeier) على النحو المبين في التوصية [b-ITU-T G.652].

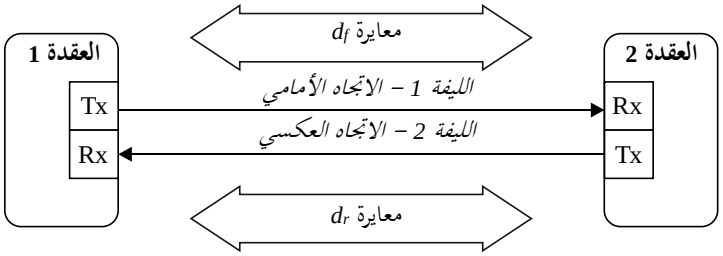
التذييل IV

تعويض عدم تناظر الوصلة والشبكة

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

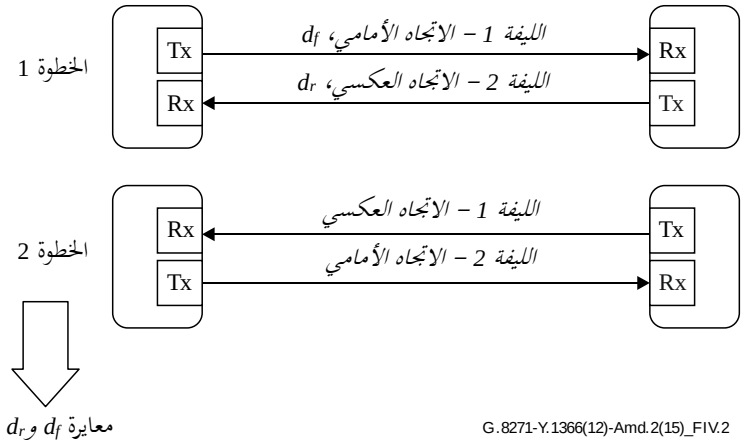
ومن أجل التعويض عن عدم التناظر في تأخر الوصلة، قد يُرغب بوجود إجراء ما تلقائي لمعايرة عدم تناظر الوصلة. ويمكن أن يستند ذلك إلى حساب تأخرات الانتشار بواسطة قياسات ثنائية الاتجاه تجرى على الألياف التي تستعملها الحركة.

ويمكن القيام بهذا الإجراء بشكل منفصل على كلا الليفين (في الليفة المستخدمة في الاتجاه الأمامي وفي الليفة المستخدمة في الاتجاه العكسي)، مما يقدم تأخر الانتشار الأمامي d_f وتأخر الانتشار العكسي d_r. ويظهر ذلك في الشكل 1.IV.



الشكل 1.IV – عملية معايرة عدم تناظر الوصلة (تجرى بشكل منفصل على كلا الليفين)

بدلاً من ذلك، يمكن القياس ذهاباً وإياباً في خطوتين على كلا الليفين بعكس اتجاه الإرسال. ويظهر ذلك في الشكل 2.IV.



الشكل 2.IV – عملية معايرة عدم تناظر الوصلة (تجرى على كلا الليفين في الوقت نفسه)

الملاحظة 1 – في حالة التوصيل بين الضابطة والمضبوطة، على النحو المبين في الشكل I.1، ينطبق ما يلي:

$$d_f = d_{ms}$$
$$d_r = d_{sm}$$

ويجب أن تلبي آلية معايرة عدم تناظر الوصلة هدف دقة لتقديري d_f وd_r. ويحتاج هذا الحد لمزيد من الدراسة.

الملاحظة 2 – في الحالة التي تدخل فيها عقدة واحدة في حالة استبقاء أثناء إجراء حساب عدم التناظر (بسبب تبديل الألياف، على سبيل المثال، إذا كان ذلك مطلوباً في الإجراء)، ينبغي أن يؤخذ في الاعتبار تأثير استبقاء التردد لأنه قد يؤثر على دقة القياس.

ويمكن القيام بعدة تطبيقات، استناداً مثلاً إلى بدالات بصرية أو مرشحات إضافة وإزالة ثابتة أو قابلة للتوليف. وحسب التنفيذ، قد لا يُتطلب قطع الحركة أثناء عملية المعايرة وبالتالي قد تكون عملية ممكنة خلال الخدمة. بيد أن تعويض عدم التناظر هو عملية مطلوبة عند بدء التشغيل أو أثناء إعادة ترتيب الشبكة فقط.

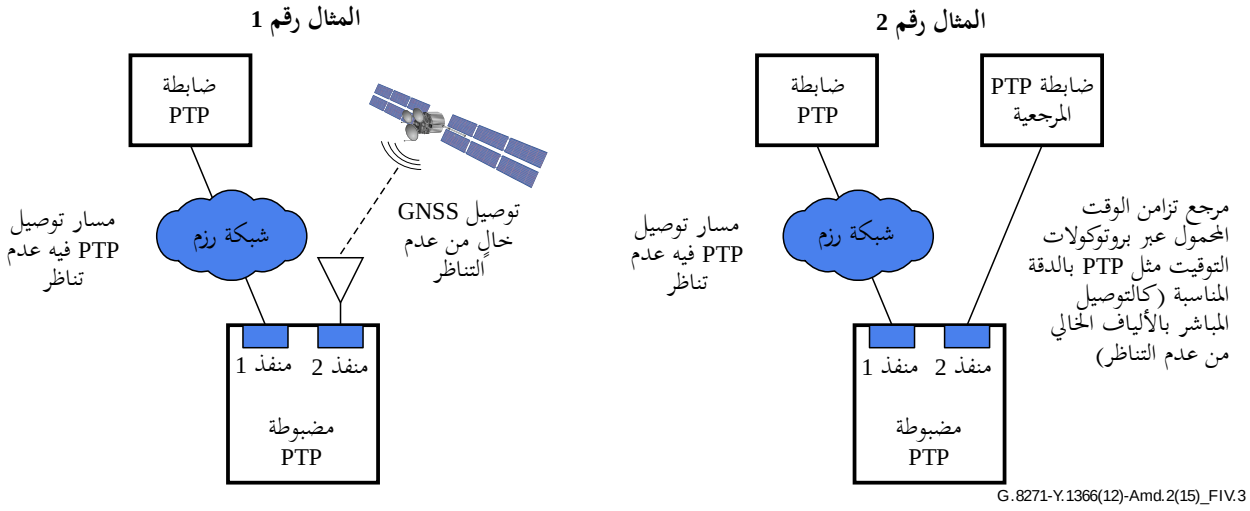
وينطبق هذا القياس على أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة (WDM) (بما في ذلك شبكة النقل البصرية (OTN)) وعلى أنظمة مغايرة لها. وفي حالة أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة، ينبغي أن يأخذ هذا القياس في الحسبان التأخر المحتمل بسبب الألياف البصرية المعوضة عن التشتت (DCF).

الملاحظة 3 – في حالة أنظمة تعدد الإرسال بتقسيم طول الموجة (WDM)، ينبغي أن يؤخذ في الحسبان أيضاً عدم التناظر الناجم عن استعمال أطوال موجة مختلفة في الاتجاهين. وفي الواقع، فإن استخدام أطوال موجة مختلفة على الليفين، (أو في ليف واحد في حالة استخدام نظام إرسال لليف واحد)، من شأنه أن يؤدي إلى تأخرات مختلفة حتى لو كان لليفين الطول نفسه. ويلاحَظ أيضاً لزوم تعويض يتعلق بنفس الجانب إذا كان طول الموجة المستخدم أثناء عملية معايرة عدم تناظر الوصلة مختلفاً عن طول الموجة الذي تستعمله الحركة. وترد في التذييل III منهجيات مناسبة لمعالجة هذه النقطة.

ويمكن استخدام الفرق $(d_f - d_r)$ في تقييم عدم تناظر التأخر الذي سيُستخدم في عملية استعادة الوقت. وعلى وجه الخصوص، تشكل معلمة عدم تناظر التأخر، *delayAsymmetry*، على النحو المحدد في الفقرة 4.7 من المرجع [IEEE 1588]، نصف ذلك الفرق.

الملاحظة 4 – إذا نُفذت الميقاتية الحدودية للاتصالات في كل عقدة، يمكن لهذه الميقاتية العليمة بالفرق $(d_f - d_r)$ أن تطلق التعويض مباشرة. وإذا لم يكن الأمر كذلك، يجب تقديم بعض الوسائل لإتاحة الفرق $(d_f - d_r)$ عند نقاط الشبكة التي تعالَج فيها رسائل بروتوكول الوقت الدقيق (PTP). ويحتاج ذلك لمزيد من الدراسة.

الملاحظة 5 – في حالة حمل بروتوكول الوقت الدقيق لتزامن الوقت، قد يكون توصيل بروتوكول الوقت الدقيق غير متناظر جراء مجموعة متنوعة من الأسباب، بما في ذلك مسارات الشبكة أو مستويات التحميل أو أطوال الكبل. ويمكن تقييم عدم تناظر توصيل بروتوكول الوقت الدقيق في عنصر شبكة بروتوكول الوقت الدقيق، إذا كان لعنصر الشبكة إمكانية النفاذ إلى مصدر ثان لتزامن الوقت لا يتأثر كثيراً بعدم التناظر (مثل مستقبل النظام العالمي للملاحة الساتلية أو مرجع تزامن وقت يُحمل عبر بروتوكولات التوقيت مثل بروتوكول الوقت الدقيق بالدقة المناسبة) على النحو المبين في الشكل IV.3. وفي حالة تقييم عدم تناظر توصيل بروتوكول الوقت الدقيق باستخدام مصدر ثان لتزامن الوقت، يمكن تعويض التخالف الناجم عن عدم التناظر عن طريق عنصر الشبكة. ويمكن تطبيق المبدأ نفسه بين عناصر الشبكة في سلسلة.



الشكل IV.3 – تقييم عدم تناظر توصيل PTP من جانب الميقاتية المضبوطة لبروتوكول PTP

التذييل V

عدم تناظر التأخر الناتج عن تغير معدل السطح البيني في عناصر الشبكة غير المواكبة لبروتوكول الوقت الدقيق (PTP)

(لا يشكل هذا التذييل جزءاً أساسياً من هذه التوصية)

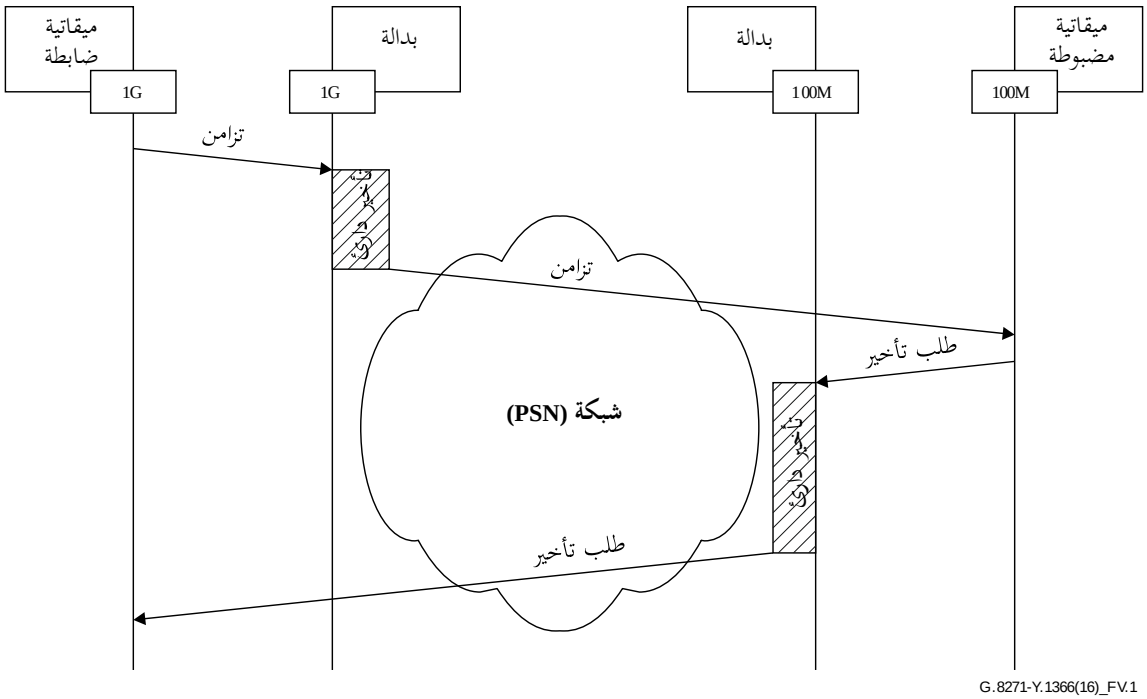
وفي حالة عدم توصيل الضابطة والمضبوطة بعنصر شبكة مواكب لبروتوكول الوقت الدقيق (BC أو TC على سبيل المثال) وعدم استخدامهما لسرعة خط الإثرنت نفسها، يمكن أن يتولد عدم التناظر في التأخر بسبب طبيعة "التخزين وإعادة التسيير" في بدالات الإثرنت، وهذا يعني أن البدالة تحتاج إلى استقبال الإطار بأكمله قبل بدء الإرسال على المنفذ بسرعة خط أعلى، للتأكد من أن بيانات الرزمة متاحة للإرسال. ويعتمد الحد الأدنى من الوقت اللازم لنقل الرزمة عبر البدالة على طول الرزمة ومعدل خط الدخول. وقد عرِّفت رزم Sync وDelay_Req PTP لكي تتخذ نفس الطول من أجل تقليل عدم تناظر التأخر الناجم عن اختلاف تأخر الانتقال، إلا أن عدم تطابق سرعة الإثرنت سيولد عدم تناظر.

ويمكن تقدير عدم التناظر المتوقع استناداً إلى مقاس رزمة رسالة الحدث ببروتوكول الوقت الدقيق وسرعة السطوح البينية.

وفي حالة معرفة عدم التناظر الساكن الناجم عن عدم تطابق السرعة، يمكن تعويضه بواسطة الميقاتية المضبوطة باستخدام آلية تعويض تأخر غير متناظر محددة في الفقرة 6.11 من المرجع [IEEE 1588].

ويُستخدم المثال التالي لتوضيح عدم التناظر الناتج عن عدم تطابق السرعة:

- يستخدم نسق الرزمة رأسية UDP/IPv4/Ethernet مما يعطي رزمة إجمالي مقاسها 86 بايتة (باستثناء الديباجة وFCS).
- طول الديباجة 8 بايتات.
- طول FCS 4 بايتات.
- السطح البيني لحدث الختم الزمني للضابطة الكبرى وفق بروتوكول الوقت الدقيق هو GE (1000 Mbit/s).
- السطح البيني لحدث الختم الزمني للميقاتية المضبوطة وفق بروتوكول الوقت الدقيق هو FE (100 Mbit/s).
- يفترض أن يكون تأخر الشبكة العاملة على تبديل الرزم (PSN) متناظراً.



الشكل 1.V – مثال عدم تطابق السرعة

ينتج ذلك المعادلة التالية للتأخر بين نقاط حدث الختم الزمني.

في الاتجاه الأمامي من الضابطة إلى المضبوطة، والتأخر بين نقاط حدث الختم الزمني هو:

$$t2 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + t1 \quad \text{(1-V)}$$

في الاتجاه العكسي من المضبوطة إلى الضابطة، التأخير بين نقاط حدث الختم الزمني هو:

$$t4 = (L_{PKT} + L_{FCS})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times FE_{ns/bit} + D_{PSN} + (L_{Pre-amble})_{bytes} \times 8_{bits/byte} \times GE_{ns/bit} + t3 \quad \text{(2-V)}$$

وصيغة <meanPathDelay> من المعادلة (2-V) هي:

$$< meanPathDelay > = \frac{[(t2 - t1) + (t4 - t3)]}{2} \quad \text{(3-V)}$$

وبتبديل $(t2 - t1)$ في المعادلة (1-V) و$(t4 - t3)$ في المعادلة (2-V):

$$< meanPathDelay > = \frac{(L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times (GE + FE)_{ns} + 2 \times D_{PSN}}{2} \quad \text{(4-V)}$$

$$< meanPathDelay > = (L_{PKT} + L_{FCS} + L_{Pre-amble}) \times 8 \times \frac{GE + FE}{2}_{ns} + D_{PSN} \quad \text{(5-V)}$$

والصيغة <delayPathAsymmetry> موجبة اصطلاحاً عندما يكون المسار الأمامي أطول من المسار العكسي.

ويكون عدم تناظر مسار التأخر هو الفرق بين المعادلتين (1-V) و(5-V).

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times (\frac{GE - FE}{2})_{ns} + (L_{Pre-amble}) \times 8 \times (\frac{FE - GE}{2})_{ns} \quad \text{(6-V)}$$

أو كالفرق بين المعادلتين (5-V) و(2-V)

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times (\frac{GE - FE}{2})_{ns} + (L_{\Pr e-amble}) \times 8 \times (\frac{FE - GE}{2})_{ns} \quad \text{(7-V)}$$

وبالاستعاضة بالقيم الحقيقية في المعادلة (V-6) نحصل على:

$$< delayPathAsymmetry > = (86 + 4) \times 8 \times (\frac{1-10}{2})_{ns} + (8) \times 8 \times (\frac{10-1}{2})_{ns}$$

$$< delayPathAsymmetry > = -2952_{ns}$$

والحد العام لعدم تناظر التأخر الناجم عن عدم تطابق السرعة:

$$< delayPathAsymmetry > = (L_{PKT} + L_{FCS}) \times 8 \times (\frac{V_{PEC-M} - V_{PEC-S}}{2}) + (L_{\Pr e-amble}) \times 8 \times (\frac{V_{PEC-S} - V_{PEC-M}}{2})$$

حيث:

L_{PKT} هو طول الرزمة (باستثناء الديباجة وFCS) بالبايتات

L_{FCS} هو طول تتابع التحقق من إطار (FCS) الرزمة بالبايتات

$L_{\Pr e-amble}$ هو طول ديباجة الرزمة بالبايتات

V_{Master} هي سرعة السطح البيني للختم الزمني على الميقاتية الضابطة وفق بروتوكول الوقت الدقيق بوحدة بتات/ثانية

V_{Slave} هي سرعة السطح البيني للختم الزمني على الميقاتية المضبوطة وفق بروتوكول الوقت الدقيق بوحدة بتات/ثانية

بيبليوغرافيا

[b-ITU-T G.652] التوصية ITU-T G.652 (2009)، *خصائص الكبلات والألياف البصرية أحادية الأسلوب*

[b-ITU-T G.8271.1] التوصية ITU-T G.8271.1/Y.1366.1 (2013)، *حدود الشبكة من أجل تزامن الوقت في شبكات الرزم*

[b-IEEE 802.16] IEEE 802.16-2012, *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems*. <http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.16-2012.html>

[b-IEEE 802.3bf] IEEE 802.3-2011, *IEEE Standard for Information technology – Local and metropolitan area networks – Part 3: CSMA/CD Access Method and Physical Layer Specifications Amendment 7: Media Access Control (MAC) Service Interface and Management Parameters to Support Time Synchronization Protocols*. <http://www.techstreet.com/ieee/searches/13964866>

[b-WMF T23-001] WMF-T23-001-R015v03 (2012), *WiMAX Forum® Air Interface Specifications – Mobile System Profile Specification* <http://resources.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/technical_document/2012/04/WMF-T23-001-R015v03_MSP-Common-Part.pdf>

[b-3GPP TR 25.836] 3GPP TR 25.836 (2001), *Node B synchronization for TDD.* <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25836.htm>

[b-3GPP TR 25.866] 3GPP TR 25.866 (2009), *1.28 Mcps TDD Home NodeB (HNB) study item technical report*. <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25866.htm>

[b-3GPP TR 36.814] 3GPP TR 36.814 (2010), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*. <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36814.htm>

[b-3GPP TR 36.922] 3GPP TR 36.922 (2015), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); TDD Home eNode B (HeNB) Radio Frequency (RF) requirements analysis*. <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36922.htm>

[b-3GPP TS 25.123] 3GPP TS 25.123 (2015), *Requirements for support of radio resource management (TDD).* <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25123.htm>

[b-3GPP TS 25.346] 3GPP TS 25.346 (2016), *Introduction of the Multimedia Broadcast/Multicast Service (MBMS) in the Radio Access Network (RAN); Stage 2*. <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25346.htm>

[b-3GPP TS 25.402] 3GPP TS 25.402 (2016), *Universal Mobile Telecommunications Systems (UMTS); Synchronization in UTRAN Stage 2.* <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/25402.htm>

[b-3GPP TS 36.104] 3GPP TS 36.104 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) radio transmission and reception.* <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36104.htm>

[b-3GPP TS 36.133] 3GPP TS 36.133 (2016), *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management*. <http://www.3gpp.com/ftp/Specs/html-info/36133.htm>

[b-3GPP2 C.S0010] 3GPP2 C.S0010-E v2.0 (2014), *Recommended Minimum Performance Standards for cdma2000 Spread Spectrum Base Stations*. <http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0010-E_v2.0_20140321.pdf>

[b-3GPP2 C.S0002] 3GPP2 C.S0002-F v2.0 (2014), *Physical layer standard for cdma2000 Spread Spectrum Systems* <http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/C.S0002-F v2.0_20140519.pdf>

البنية التحتية العالمية للمعلومات والجوانب الخاصة ببروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي وإنترنت الأشياء والمدن الذكية

البنية التحتية العالمية للمعلومات	
اعتبارات عامة	Y.199-Y.100
الخدمات والتطبيقات، والبرمجيات الوسيطة	Y.299-Y.200
الجوانب الخاصة بالشبكات	Y.399-Y.300
السطوح البينية والبروتوكولات	Y.499-Y.400
الترقيم والعنونة والتسمية	Y.599-Y.500
الإدارة والتشغيل والصيانة	Y.699-Y.600
الأمن	Y.799-Y.700
مستويات الأداء	Y.899-Y.800
جوانب متعلقة ببروتوكول الإنترنت	
اعتبارات عامة	Y.1099-Y.1000
الخدمات والتطبيقات	Y.1199-Y.1100
المعمارية والنفاذ وقدرات الشبكة وإدارة الموارد	Y.1299-Y.1200
النقل	**Y.1399-Y.1300**
التشغيل البيني	Y.1499-Y.1400
نوعية الخدمة وأداء الشبكة	Y.1599-Y.1500
التشوير	Y.1699-Y.1600
الإدارة والتشغيل والصيانة	Y.1799-Y.1700
الترسيم	Y.1899-Y.1800
تلفزيون بروتوكول الإنترنت عبر شبكات الجيل التالي	Y.1999-Y.1900
شبكات الجيل التالي	
الإطار العام والنماذج المعمارية الوظيفية	Y.2099-Y.2000
نوعية الخدمة والأداء	Y.2199-Y.2100
الجوانب الخاصة بالخدمة: قدرات ومعمارية الخدمات	Y.2249-Y.2200
الجوانب الخاصة بالخدمة: إمكانية التشغيل البيني للخدمات والشبكات	Y.2299-Y.2250
الترقيم والتسمية والعنونة	Y.2399-Y.2300
إدارة الشبكة	Y.2499-Y.2400
معمارية الشبكة وبروتوكولات التحكم في الشبكة	Y.2599-Y.2500
الشبكات الذكية الشمولية	Y.2699-Y.2600
الأمن	Y.2799-Y.2700
التنقلية المعممة	Y.2899-Y.2800
البيئة المفتوحة عالية الجودة	Y.2999-Y.2900
شبكات المستقبل	Y.3499-Y.3000
الحوسبة السحابية	Y.3999-Y.3500
إنترنت الأشياء والمدن والمجتمعات الذكية	
اعتبارات عامة	Y.4049-Y.4000
التعاريف والمصطلحات	Y.4099-Y.4050
المتطلبات وحالات الاستعمال	Y.4249-Y.4100
البنية التحتية والتوصيلية والشبكات	Y.4399-Y.4250
الأطر والمعماريات والبروتوكولات	Y.4549-Y.4400
الخدمات والتطبيقات والحوسبة ومعالجة البيانات	Y.4699-Y.4550
الإدارة والتحكم والأداء	Y.4799-Y.4700
تعرّف الهوية والأمن	Y.4899-Y.4800
التحليل والتقييم	Y.4999-Y.4900

لمزيد من التفاصيل، يرجى الرجوع إلى قائمة التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات.

سلاسل التوصيات الصادرة عن قطاع تقييس الاتصالات

السلسلة A	تنظيم العمل في قطاع تقييس الاتصالات
السلسلة D	مبادئ التعريفة والمحاسبة والقضايا الاقتصادية والسياساتية المتصلة بالاتصالات/تكنولوجيا المعلومات والاتصالات على الصعيد الدولي
السلسلة E	التشغيل العام للشبكة والخدمة الهاتفية وتشغيل الخدمات والعوامل البشرية
السلسلة F	خدمات الاتصالات غير الهاتفية
السلسلة G	**أنظمة الإرسال ووسائطه والأنظمة والشبكات الرقمية**
السلسلة H	الأنظمة السمعية المرئية والأنظمة متعددة الوسائط
السلسلة I	الشبكة الرقمية متكاملة الخدمات
السلسلة J	الشبكات الكبلية وإرسال إشارات تلفزيونية وبرامج صوتية وإشارات أخرى متعددة الوسائط
السلسلة K	الحماية من التداخلات
السلسلة L	البيئة وتكنولوجيا المعلومات والاتصالات، وتغير المناخ، والمخلفات الإلكترونية، وكفاءة استخدام الطاقة، وإنشاء الكبلات وغيرها من عناصر المنشآت الخارجية وتركيبها وحمايتها
السلسلة M	إدارة الاتصالات بما في ذلك شبكة إدارة الاتصالات وصيانة الشبكات
السلسلة N	الصيانة: الدارات الدولية لإرسال البرامج الإذاعية الصوتية والتلفزيونية
السلسلة O	مواصفات تجهيزات القياس
السلسلة P	المطاريف وطرائق التقييم الذاتية والموضوعية
السلسلة Q	التبديل والتشوير، والقياسات والاختبارات المرتبطة بهما
السلسلة R	الإرسال البرقي
السلسلة S	التجهيزات المطرافية للخدمات البرقية
السلسلة T	المطاريف الخاصة بالخدمات التليماتية
السلسلة U	التبديل البرقي
السلسلة V	اتصالات البيانات على الشبكة الهاتفية
السلسلة X	شبكات البيانات والاتصالات بين الأنظمة المفتوحة ومسائل الأمن
السلسلة Y	**البنية التحتية العالمية للمعلومات، والجوانب الخاصة ببروتوكول الإنترنت وشبكات الجيل التالي وإنترنت الأشياء والمدن الذكية**
السلسلة Z	اللغات والجوانب العامة للبرمجيات في أنظمة الاتصالات

طُبعت في سويسرا
جنيف، 2017