

SEBASTIEN JOBERT, KENNETH HANN

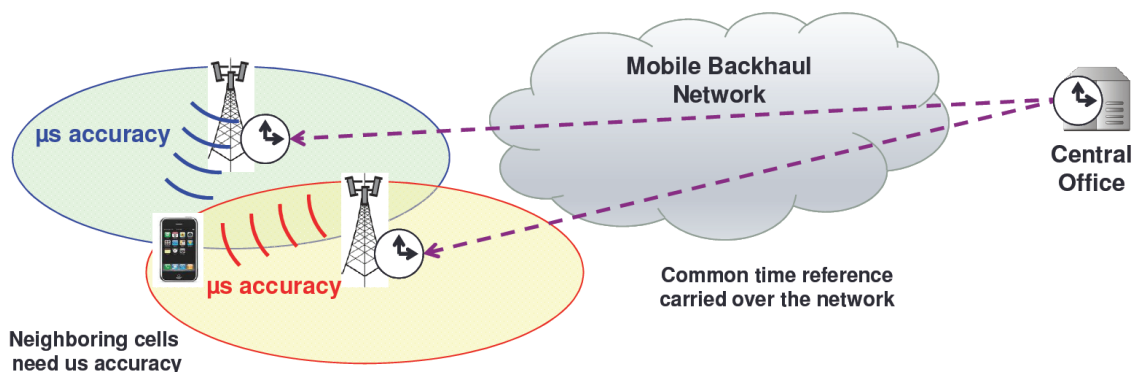
Synchronizacja i dystrybucja czasu w nowoczesnych sieciach telekomunikacyjnych

przekład artykułu SYNCHRONISATION AND TIME DISTRIBUTION IN MODERN TELECOMMUNICATIONS NETWORKS zamieszczonego na stronie:

<http://www.oscilloquartz.com/news-synchronization-and-time-distribution-in-modern-telecommunications-networks-32>

za zgodą ADVA Online Marketing Team.

W ostatniej dekadzie byliśmy świadkami wyścigu pomiędzy sieciami do zapewnienia jeszcze szybszej komunikacji i łączenia ludzi poprzez aplikacje używane codziennie przez miliardy użytkowników. Kluczową rolę w tym wyścigu odgrywają: efektywne wykorzystanie pasma i synchronizacja. Ale jak będzie wyglądać synchronizacja, gdy Ethernet wygrał wojnę o pasmo i koszt za bit?



Rysunek 1 Synchronizacja czasu jest kluczowa dla niektórych kategorii sieci telekomunikacji mobilnej

Przez wiele lat synchronizacja była produktem ubocznym sieci transmisyjnej, lecz zmiany technologiczne w sieciach zarówno stałych jak i ruchomych przekształciły synchronizację w odrębną usługę. Potrzeby są coraz większe i tradycyjne sposoby synchronizacji ewoluują. Synchronizacja czasu umożliwia mobilny dostęp za pomocą takich technologii jak np. TDD (Time Division Duplex), transmisję i odbiór typu Coordinated Multipoint i Multicast-Broadcast Single Frequency Network.

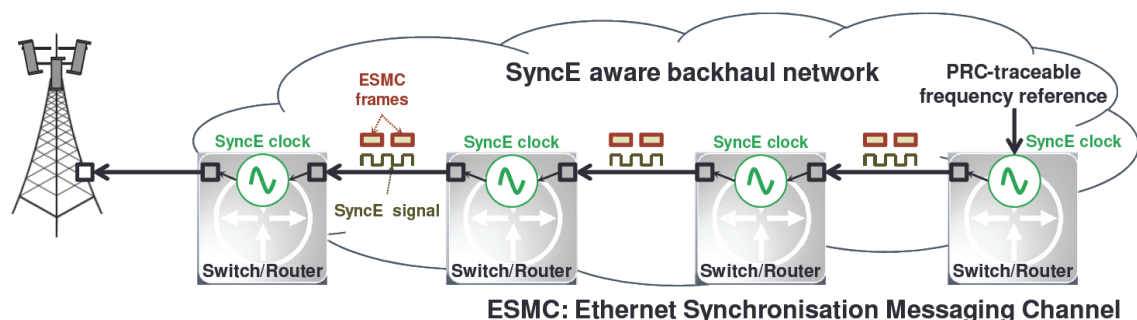
Jest tu pewien paradoks, podczas gdy sieci mobilne zwiększają wymagania dla synchronizacji, sieci transportowe, które kiedyś były w całości synchroniczne i przenosiły synchronizację w warstwie fizycznej, w znacznej części straciły te możliwości. Jak więc obecnie można realizować usługę synchronizacji, gdy sieci TDM są zastępowane przez sieci pakietowe?

Rozwijające się, nowe metody synchronizacji są też potencjalnym zaczątkiem nowych paradygmatów takich jak Internet of Things (IoT) i techniki wizualizacji.

Przed kilkunastu laty z bloków wystartowało dwóch zawodników:

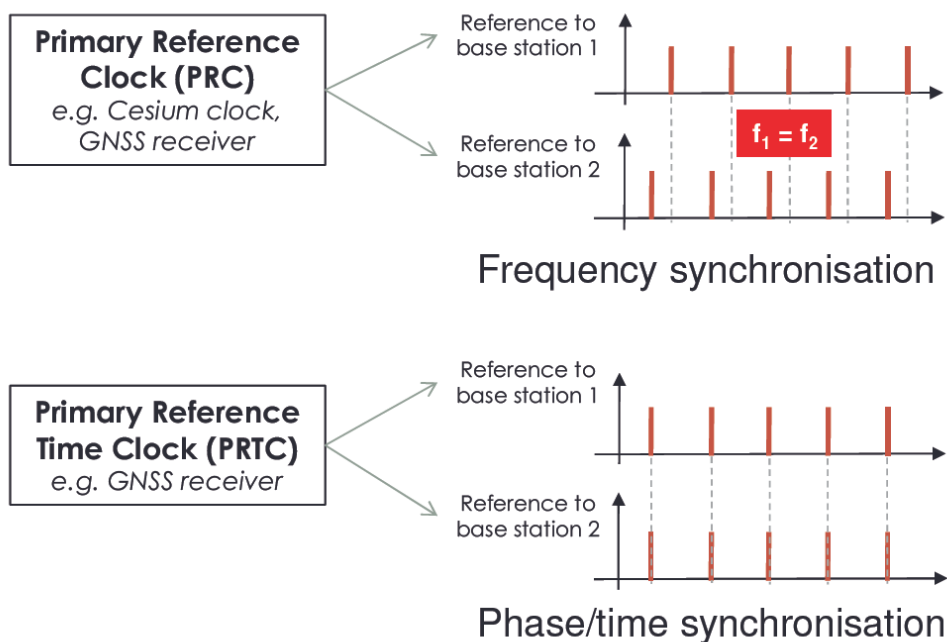
1. Synchroniczny Ethernet, technologia synchronizacji, która przejęła dziedzictwo SDH (Synchronous Digital Hierarchy).
2. IEEE 1588™, protokół pakietowy wykorzystujący stemple czasowe, debiutujący w sieciach telekomunikacyjnych, lecz będący spadkobiercą rozpowszechnionego NTP (Network Time Protocol).

Synchroniczny Ethernet



Rysunek 2 Synchroniczny Ethernet jest realizowany przez ciągły łańcuch transmisyjny, każdy switch i router muszą implementować zegar SyncE.

Podczas gdy sieci TDM wymagają stabilnego taktu dla uniknięcia poślizgów związanych z niedopełnieniem lub przepełnieniem bufora, sieci pakietowe takie jak Ethernet zostały zaprojektowane do pracy asynchronicznej, oszczędzającej koszty oscylatorów, nie wymagającej wyboru zegara i podtrzymania.



Rysunek 3 Różnica pomiędzy synchronizacją częstotliwości a synchronizacją fazy i czasu.

Jakkolwiek redukcja kosztów była znaczącym czynnikiem dla operatorów sieci, wykorzystanie Ethernetu przerwało łańcuch dystrybucji taktowania do sieci mobilnych. Rozwiązanie było proste – należało uczynić Ethernet synchronicznym, tak narodziła się technologia SyncE (Synchronous Ethernet). Ruch Ethernetowy nie wymaga synchronizacji sam z siebie, kluczowym czynnikiem synchronizacji tych sieci było umożliwienie transportu zegara do punktów sieci mobilnej. Synchroniczny Ethernet oferuje ciągłość łańcucha dystrybucji synchronizacji poprzez routery i switch'e a operatorzy korzystają z niego gdzie tylko jest to możliwe.

Standaryzację synchronicznego Ethernetu wsparli europejscy operatorzy, którzy postrzegali tę technologię, jako krok na drodze w migracji do Ethernetu, lecz z zachowaniem hierarchii taktowania połączenie za połączeniem całkowicie kompatybilnej z SDH.

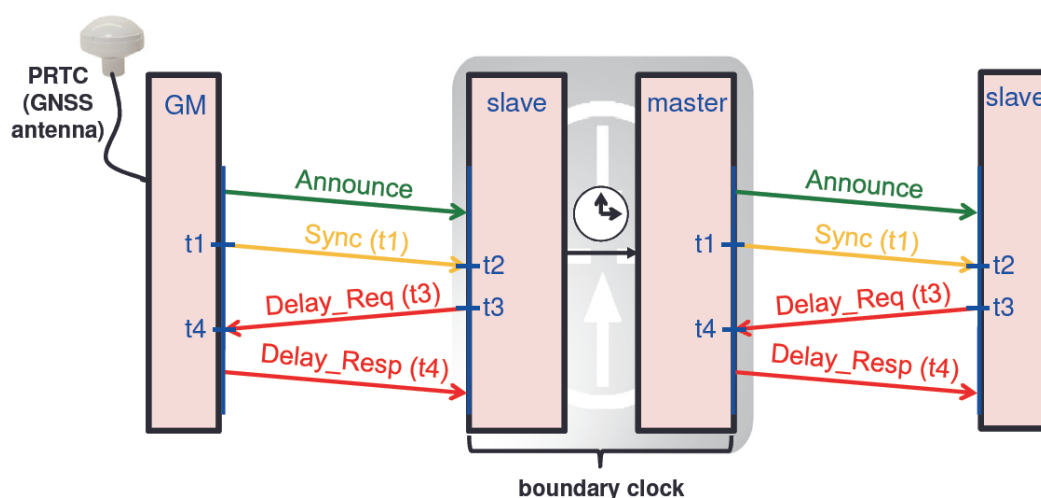
SyncE sprawia, iż bity danych transmitowane w warstwie fizycznej są w zgodzie z krokiem rytmu odniesienia zwykle pobieranego z Głównego Zegara Odniesienia PRC (Primary Reference Clock). SyncE jest więc rozwiązaniem umożliwiającym synchronizację częstotliwości, jakkolwiek istniały propozycje rozszerzenia na synchronizację fazy/czasu. Komunikat SSM (Synchronization Status Message) wykorzystujący 4 bity w nagłówku SDH, odnajduje się we wnętrzu SyncE w niezbyt szybkim protokole Ethernet Synchronization Status Messages, mogącym sygnalizować przerwę w łańcuchu dystrybucji i informować, iż odbierany sygnał warstwy fizycznej nie jest już synchronizowany do PRC.

Należy odnotować, iż jakkolwiek SyncE nie przenosi synchronizacji fazy/czasu, jest jednak uważany za użyteczną technikę w połączeniu z IEEE 1588TM przede wszystkim dla podtrzymania fazy/czasu w przypadku awarii. Przykładem może być sytuacja, gdy czas jest przekazywany przy pomocy PTP (Precision Time Protocol) a po utracie połączenia PTP zegar jest taktowany sygnałem SyncE. W niektórych zastosowaniach, takich jak np. White Rabbit, standardy SyncE i IEEE 1588TM są wykorzystywane łącznie do uzyskania niewiarygodnie dużej dokładności czasu.

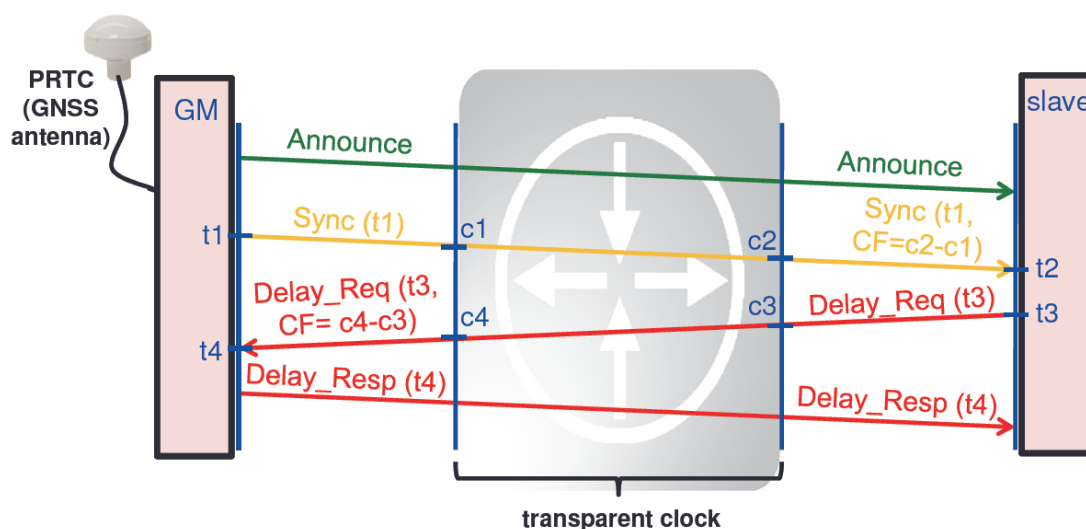
SyncE jest szeroko stosowany w telekomunikacyjnych urządzeniach Ethernetowych, szczególnie w transmisji z głównej sieci do podsieci (mobile backhaul). Standard SyncE jest stabilny, jedyne nowe wzbogacenie jest obecnie definiowane przez ITU-T dla odzwierciedlenia faktu, iż typowa realizacja fizyczna SyncE przekracza jakością poprzednią generację wymagań ITU-T o rząd wielkości. W wyścigu do synchronizacji sieci mobilnych SyncE wystartował pierwszy.

IEEE 1588TM-PTP i profile telekomunikacyjne

Alternatywa dla SyncE, dostarczającą zarówno synchronizację częstotliwości jak fazy/czasu, jest znana jako standard IEEE 1588TM, który definiuje PTP. IEEE 1588TM wystartował jako mechanizm tworzący hierarchiczną architekturę synchronizacji w sieci Ethernet i został utworzony dla wielu zastosowań poczynawszy od technik pomiarowych poprzez energetykę aż do automatyki. Początkowo nie wykorzystywano PTP w telekomunikacji. IEEE 1588TM po raz pierwszy został opublikowany w 2002 roku, w roku 2008 ukazała się druga wersja zawierająca warianty dla telekomunikacji i mechanizm opracowywania profili adekwatnych dla różnych zastosowań. Profile telekomunikacyjne bazują na tej wersji. Trzecia wersja jest aktualnie opracowywana.



Rysunek 4 Dystrybucja synchronizacji poprzez boundary clock



Rysunek 5 Dystrybucja czasu poprzez transparent clock, transparent clock uzupełnia stemple czasowe o wartość korekcji *correctionField*

ITU-T zdecydowała o zdefiniowaniu profilu PTP do dystrybucji częstotliwości w rekomendacji G.8265.1. Później został zdefiniowany profil G.8275.1 dla synchronizacji fazy/czasu. Trzeci profil został ostatnio zdefiniowany w G.8275.2.

Dla zweryfikowania, iż opcje PTP są prawidłowo zaimplementowane zgodnie z powyższymi profilami, IEEE uruchomiła ostatnio program certyfikacji, jest to pierwszy program certyfikacji wdrożony przez IEEE i ma na celu wsparcie operatorów sieci w dostarczaniu produktów zgodnych z PTP.

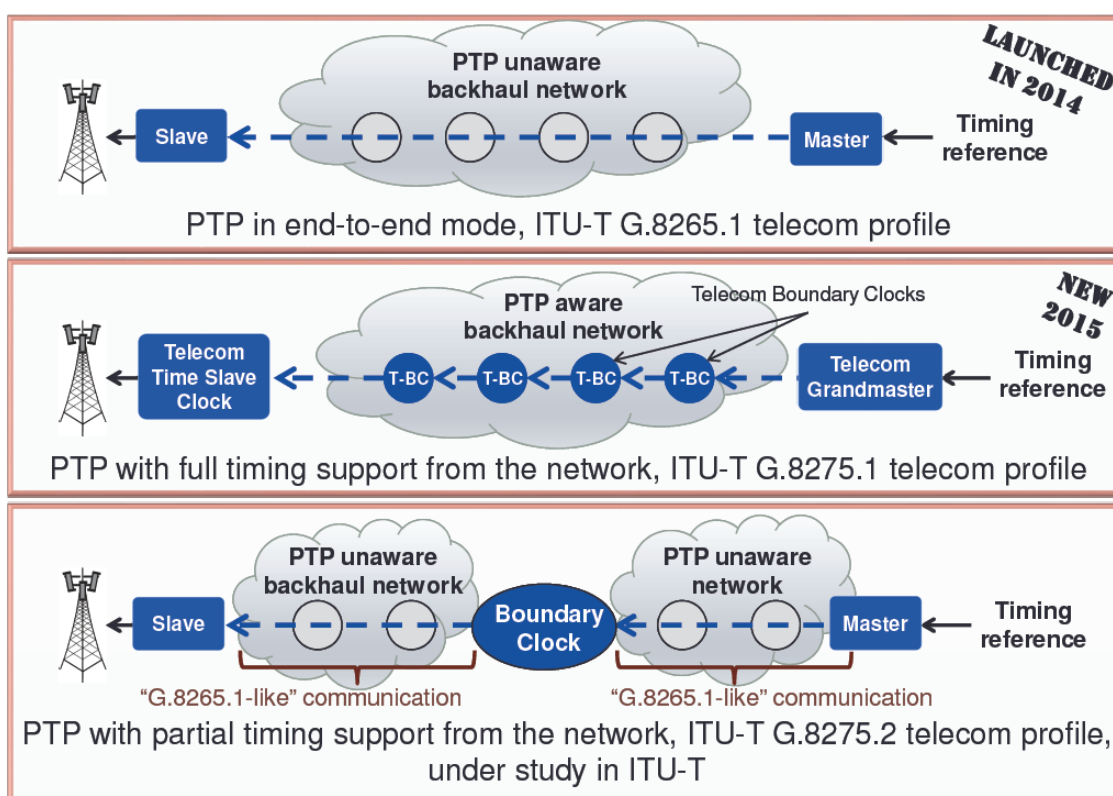
Dla zapewnienia wysokiej dokładności IEEE 1588™ polega na sprzętowej technice stemplowania wiadomości czasem bardzo blisko warstwy fizycznej zarówno na wejściu jak i wyjściu. Dzięki temu wiadomości Sync PTP przenoszą dokładne stemple czasowe z portu PTP master do portu PTP slave. Dla dystrybucji czasu niezbędna jest dwustronna wymiana informacji (mechanizm DelayReq/DelayResp) umożliwiającą wyznaczenie czasu propagacji pomiędzy portami master i slave.

Zegary zwykłe (ordinary clocks) zdefiniowane przez IEEE 1588™ posiadają pojedynczy port, który może działać zarówno jako master jak i slave. Źródłem czasu dla domeny PTP jest zegar główny określany mianem GrandMaster. IEEE 1588™ definiuje również dwa inne typy zegarów używanych do budowy sieci synchronizacyjnej:

Boundary clock – zegar PTP z wieloma portami PTP, który może odbierać, regenerować i retransmitować czas odniesienia z innych zegarów PTP. Zegar Boundary utrzymuje lokalnie czas PTP.

Transparent Clock – zegar PTP z wieloma portami PTP, który oblicza czas przebywania wiadomości PTP wewnątrz węzła sieci zawierającego ten zegar i wprowadzający tę informację w polu correctionField wiadomości PTP tak, że następny zegar PTP odbierający wiadomość może skompensować opóźnienie o tę wartość. Transparent Clock nie utrzymuje lokalnego czasu PTP.

Pojęcie „wsparcia taktowania poprzez sieć” zwykle odnosi się do użycia zegarów boundary i transparent. G.8265.1 definiuje profile dla sieci nie zawierającej zegarów boundary i transparent. G.8275.1 definiuje profile dla sieci z pełnym wsparciem – telekomunikacyjne zegary boundary muszą być obecne we wszystkich węzłach sieci, zegary transparent mają być uwzględnione w następnej wersji profilu. G.8275.2 definiuje profil z częściowym wsparciem sieci – zegary boundary nie muszą być obecne we wszystkich węzłach. Jest to pokazane na rysunku 6.



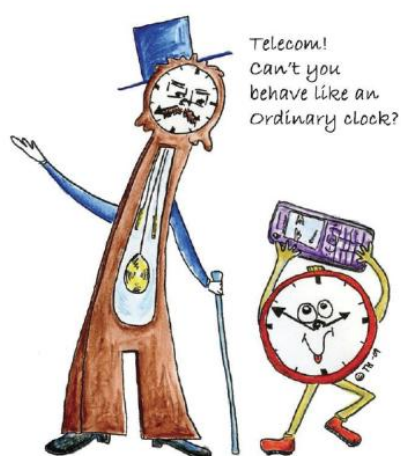
Rysunek 6 Status programu certyfikacji IEEE 1588™

Główne różnice pomiędzy G.8265.1 i G.8275.1 przedstawiono w poniższej tabeli.

	G.8265.1	G.8275.1
PTP clock types	Master-only Slave-only	Telecom grandmaster: master-only Telecom boundary clock: boundary clock Telecom time slave clock: slave-only
Mapping	IPv4/IPv6 unicast	Ethernet multicast
Unicast negotiation	Slaves negotiate service rate using PTP signalling messages	Not used (fixed rates)
Message rates (per second)	Announce: up to 8 messages Sync, Delay_Req: up to 128 messages	Announce: 8 messages Sync, Delay_Req: 16 messages

G.8265.1 został stworzony w czasach, gdy sieci nie były wyposażone w zegary boundary. Ta sytuacja była daleka od ideału, ponieważ pakiety niosące wiadomości PTP podlegają zmiennym opóźnieniom, które obniżają jakość synchronizacji. Jednakże wymagania dla ówczesnych sieci mobilnych wykorzystujących technologię FDD (Frequency Division Duplex) były wystarczająco luźne by zaakceptować to rozwiązanie. Ten profil PTP jest również dzisiaj powszechnie używany w sytuacji, gdy funkcja slave PTP jest zlokalizowana w stacji bazowej lub bramce obiektu sieci komórkowej a funkcja master PTP w dedykowanym urządzeniu synchronizującym lub routerze. Ten standard jest obecnie stabilny i nie przewiduje się jego rewizji.

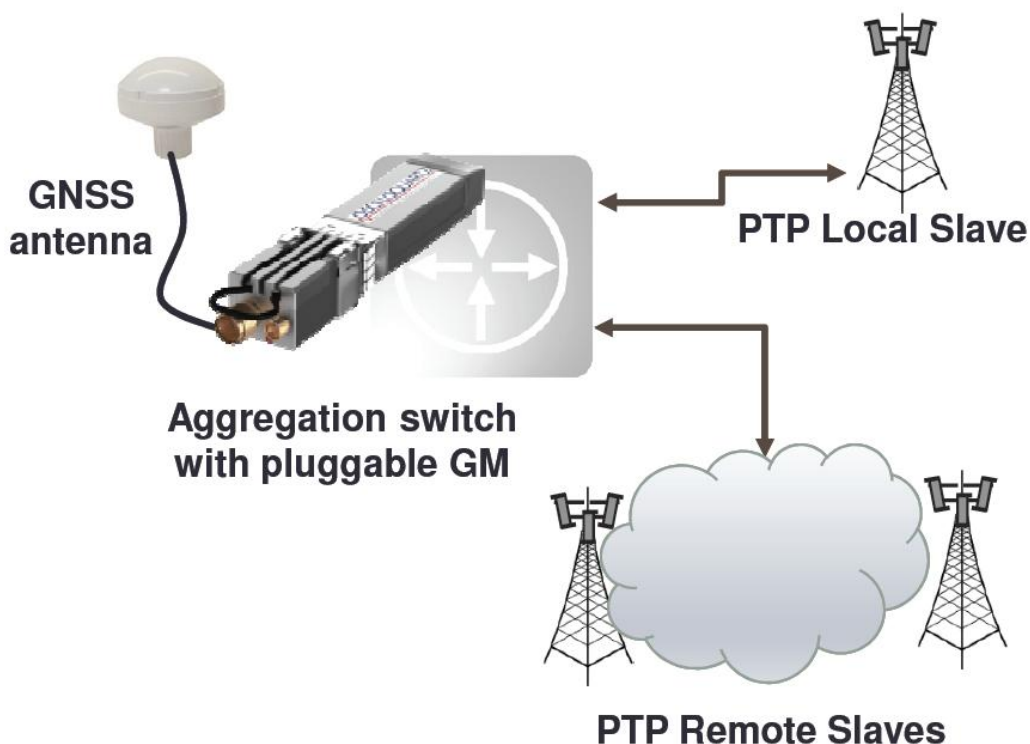
Standard G.8275.1 został opracowany dla potrzeb dokładnej synchronizacji fazy/czasu z docelową dokładnością 1µs.



Rysunek 7 G.8275.1 jest trochę "inną" realizacją IEEE 1588™

Dla uniknięcia problemów wynikających z rozrzutu czasu propagacji pakietów zdecydowano utworzyć architekturę, w której wszystkie węzły pomiędzy zegarem telekomunikacyjnym GrandMaster i zegarem slave zawierają funkcję zegara boundary. Ten profil jest ukierunkowany na sieci, które od początku są projektowane dla zapewnienia dokładnej synchronizacji fazy/czasu. Jako iż ten standard jest dość młody (zatwierdzony w 2014r.), telekomunikacja jest wciąż na drodze do zaimplementowania tego profilu. Oczekuje się, iż będzie on szeroko wprowadzany w Europie. Przewiduje się, iż telekomunikacyjne zegary boundary znajdą zastosowanie w szerokiej grupie sieci. W chwili obecnej przygotowywana jest nowa edycja standardu dodająca wsparcie ze strony zegarów transparent.

G.8275.2 ma na celu wyeliminowanie niektórych z niedogodności źródeł czasu opartych o GNSS (Global Navigation Satellite Systems). Jedną z propozycji amerykańskich operatorów sieci było użycie IEEE1588™ dla zabezpieczenia urządzeń opartych o GPS instalowanych na każdej stacji bazowej. Jako, iż dzisiaj wiele sieci nie korzysta wszędzie ze wsparcia PTP, architektura tego profilu wykorzystuje koncepcję częściowego wsparcia. Pojęcie „Assisted Partial Timing Support” (A-PTS) odnosi się do sytuacji, gdy każda ze stacji bazowych podczas normalnej pracy korzysta z systemu GPS. G8275.2 jest wciąż na wczesnym stadium rozwoju i jest publikowany prze ITU-T w trakcie powstawania.



Rysunek 8 Miniaturowy zegar GrandMaster PTP zapewnia synchronizację czasu na skraju sieci

Ewolucja architektury.

Od scentralizowanej architektury PRC do rozproszonych PRTC's (Primary Reference Time Clocks)

Od czasów SDH, synchronizacja była dystrybuowana poprzez drzewiastą strukturę, której korzeniami był cezowy wzorzec PRC umieszczony w centrum sieci. Gałęzie tworzyły sztywne połączenia dużej szybkości, które prowadziły do tysięcy stacji komunikacji ruchomej na krawędziach. Struktura synchronizacji zawsze była postrzegana jako drzewiasta struktura – wymagająca unikania pętli synchronizacyjnych, mimo iż typowe sieci są zwykle implementowane w postaci pierścieni.

Ponieważ dzisiaj wymaganą usługą synchronizacyjną jest często czas (nie tylko częstotliwość), PRC zostało zastąpione przez PRTC. Dostępność tanich rozwiązań synchronizacyjnych o niewielkich rozmiarach uczyniła perspektywę przesunięcia PRTC do brzegów sieci atrakcyjną.

Podczas gdy uprzednio mały kraj mógł posiadać kilka PRC współdzielonych przez operatorów sieci 3G, obecnie pojedynczy operator może posiadać w sieci TD LTE kilka tysięcy PRTC's. Taka architektura ogranicza transport synchronizacji długimi połączeniami i jest atrakcyjna, gdy wymagana jest wysoka jakość synchronizacji ponieważ źródło czasu znajduje się w niej w pobliżu stacji bazowej. PRTC charakteryzują się również coraz mniejszymi rozmiarami. Obecnie zegar telekomunikacyjny PTP Grandmaster może mieć postać niewielkiej wtyczki, takiej jaką przedstawiono na rysunku 8.

Możliwości i wyzwania częściowego wsparcia taktowania (PTS – Partial Time Support).

Przez dekady, inżynierowie telekomunikacyjni tkwili w okowach tradycyjnych reguł niezawodnościowych, marginesów bezpieczeństwa i pięcio-dziewiątkowej 0,99999 dostępności. Obecnie, pewne sytuacje mogą umożliwiać rozluźnienie tych wymagań. Można zaobserwować rosnący trend uwzględniania kalkulowanego ryzyka i wykorzystywania rozwiązań, które będą pracować w większości przypadków, lecz już samego projektu wynika, iż nie we wszystkich. Jedną z takich propozycji jest częściowe wsparcie taktowania.

Nowoczesne sieci mogą dostarczać synchronizację wysokiej jakości lecz większość sieci została zbudowana przed wielu laty i zawiera urządzenia, które nie zostały zaprojektowane do dystrybucji czasu, tzn. nie zawierają zegarów boundary i transparent. Jednakże, również tradycyjne sieci transmitują pakiety. Co się zdarzy, gdy będziemy próbować przenosić synchronizację tą drogą – czy będzie to działać? Jeśli będzie działać, oszczędzimy trudności i wydatków związanych z dodaniem odpowiedniego wsparcia dla sieci. Jeśli jednak nie będzie działać, obniżona zostanie jakość komunikacji radiowej.

Nadto, wyzwaniem jest pomiar dokładności czasu na skraju sieci przez porównanie z wzorcem. W praktyce, jedynym dokładnym przyrządem pomiarowym jest odbiornik GNSS. Tak więc technicy poruszają się w swoich białych vanach pomiędzy stacjami i ustawiają tymczasowo anteny GPS z towarzyszącą aparaturą pomiarową, by stwierdzić czy PTS zapewnia wymagana dokładność. Jest to echo czasów, gdy tacy sami technicy mierzyli jakość POT (Plain Old Telephone Service) pod kątem wprowadzenia ADSL. Będziemy mogli zobaczyć, że gdy tylko wkrótce dostarczanie Internetu stanie się niezależne od usług techników, usługi synchronizacji będą musiały być zautomatyzowane.

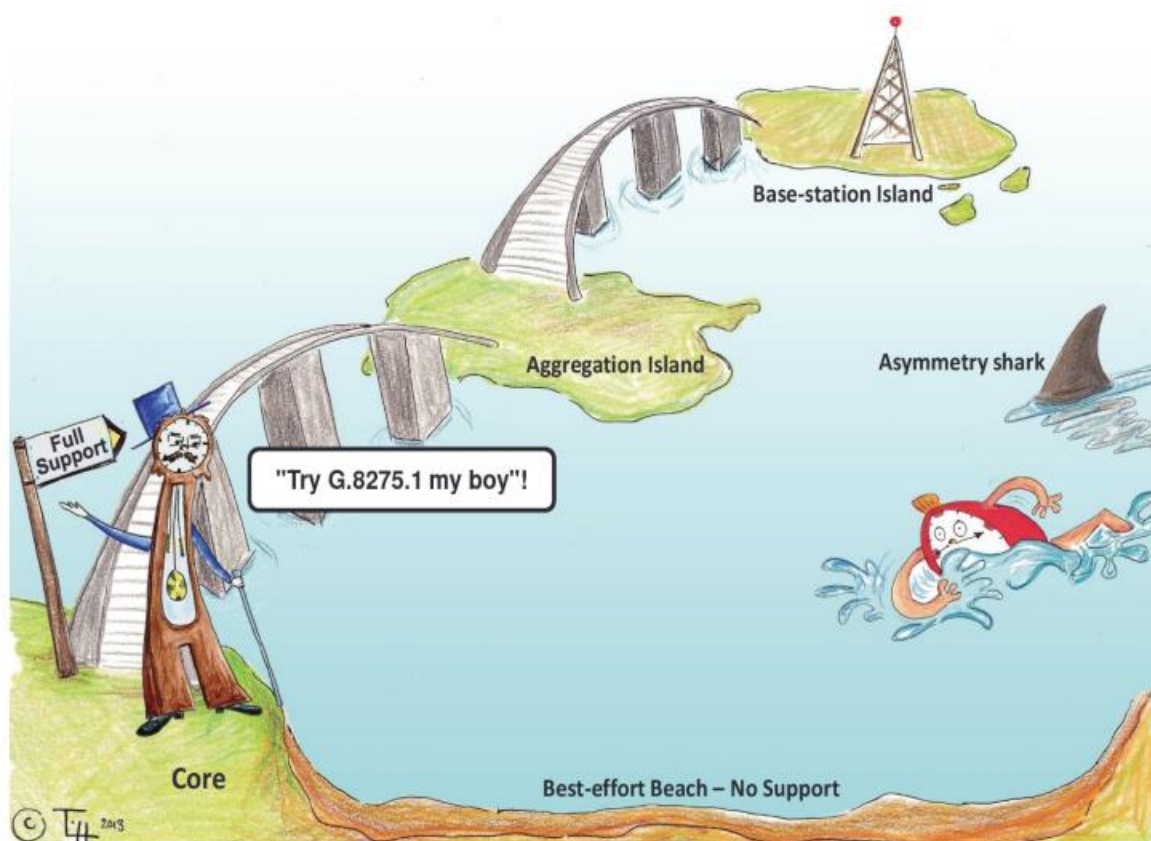
Tak więc co się stanie, jeśli uruchomimy PTS i zbadamy tylko niewielki procent sieci? Obniży nam to znacznie koszty instalacji a ponieważ sieci są zbudowane z podobnych składników i struktur, wyniki będą dobrym wskaźnikiem dla całej sieci. Ryzyko takiego podejścia bierze się z asymetrii instalacji

kablowych ($250\text{m} \approx 1\mu\text{s}$), asymetrii sprzętu (może się zmieniać np. wraz z obciążeniem, po restarcie) i asymetrii tras w kierunkach do i z. Kluczowym słowem dla tych wszystkich sytuacji jest asymetria.

PTP zakłada, iż ścieżki są symetryczne i jeśli tak nie jest, powstaje błąd. Jeśli całkowita asymetria może być określona (na podstawie znajomości urządzeń, liczby hopów, praktyki instalacji światłowodów, polityki routingu) wtedy PTS oferuje znaczące obniżenie kosztów. Lecz nie jest to proste. Pytanie dla operatora brzmi: czy ryzyko zostanie utrzymane w dopuszczalnych granicach? Innym zagadnieniem jest to, iż wymagania dla synchronizacji czasu rosną i to, czym jest dzisiaj $1,5\mu\text{s}$ jutro może być 300ns . Jeden z europejskich operatorów ocenił, iż podjęcie ryzyka związanego z PTS jest jak pływanie wśród rekinów. Jednak w pewnych sytuacjach PTS może być wykorzystane dla uzyskania korzyści. Następną sekcja dostarcza przykładu.

Assisted Partial Timing Support (A-PTS) – połączenie PTS z GNSS

Na skraju sieci w znacznym stopniu polega się na bezpośrednim korzystaniu z odbiorników GNSS, które stały się de facto podstawowym rozwiązaniem dla sieci wymagających synchronizacji.



Rysunek 9 Czy można zapewnić synchronizację płynąc przez morze rekinów asymetrii

Ostatnio, brak odporności odbiorników GNSS na zagłuszanie staje się poważnym problemem i doprowadził do połączenia rozwiązań opartych o PTS z opartymi lokalnie o GNSS. To rozwiązuje podstawowy problem PTS zidentyfikowany powyżej – potrzebę wzorca do sprawdzenia lub kalibracji ścieżki PTP. Czas dystrybuowany przez PTP może być porównany z czasem pochodzącym z GNSS. Każdy, stały w czasie offset, może być zmierzony i skompensowany, co natychmiast umożliwia PTP dostarczanie dokładnego czasu w przypadku awarii GNSS Zilustrowano na rysunku 10.

Spojrzenie w przód – synchronizacja dla Internet of Things

Pojawia się dużo spekulacji dotyczących wymagań synchronizacyjnych dla urządzeń i aplikacji środowiska IoT oraz korzyści, jakie może przynieść wysoka dokładność czasu dla miliardów urządzeń tworzących IoT. Oczywiście, jeśli dokładny czas będzie powszechnie dostępny, nastąpi mnóstwo zmian i ulepszeń w tym jak rzeczy są wykonywane na przykład: języki programowania z koncepcją czasu, programowalne liczniki w centralnych jednostkach przetwarzających gdzie będzie dostępny czas rzeczywisty na poziomie nanosekundowym, systemy cyberfizyczne, w których zdarzenia będą miały miejsce w precyzyjnych momentach i umożliwią dystrybucję z dokładnym sterowaniem.

Jednakże, wszystkie te tendencje zakładają, że dokładny czas będzie pompowany przez Internet z dużą dokładnością, niezawodnością i bezpiecznie – i za darmo. Z drugiej strony, jeśli dokładny czas jest tak wartościową usługą i może być dostępny, czy nie będzie użytkowników, którzy zechcą płacić rozsądną cenę za tą usługę? Taka usługa w wersji Premium powinna dostarczać czas z wyższą jakością w porównaniu z czasem przenoszonym transparentnie poprzez połączenie transmisji danych i mogłaby być dostarczana przez operatorów sieci we współpracy z krajowymi laboratoriami metrologicznymi.

Konkluzje autorów

Najważniejsze technologie synchronizacyjne SyncE i IEEE 1588™ adresowane są do różnych zastosowań. SyncE zapewnia tradycyjną dystrybucję częstotliwości i odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu podtrzymania czasu dla systemów PTP. IEEE 1588™ jest cały czas rozwijany przez liczne ciała standaryzujące, wraz z profilami telekomunikacyjnymi zdefiniowanymi przez ITU-T. W połączeniu pozwalają one zapewnić dokładną i niezawodną synchronizację czasu.

Wiele aplikacji oczekuje wciąż oczekuje na możliwość korzystania z dokładnego czasu. Cały świat jest jeszcze do zsynchronizowania!

AUTORZY**Sébastien Jobert**

Sébastien jest ekspertem telekomunikacyjnym zaangażowanym od ponad 10 lat w proces standaryzacji technologii ITU-T Synchronous Ethernet and IEEE 1588™. Jest współautorem książki i kilku patentów. Był redaktorem różnych międzynarodowych standardów i programów testowych ITUT, IEEE and MEF i prowadził pierwszy program certyfikacyjny w historii IEEE. Sébastien był starszym dyrektorem inżynierii laboratorium Iometrix w Silicon Valley i poważanym ekspertem sieciowym w Orange, gdzie skupiał się na zagadnieniach QoS, oraz technologiach chmurowych i mobilnych.

Kenneth Hann

Kenneth jest starszym dyrektorem Oscilloquartz Finland. Był założycielem i CEO Time4 Systems z 30 letnim doświadczeniem pracy w telekomunikacji z urządzeniami Nokia, Martis i Tellabs. W ostatniej dekadzie Kenneth skupiał się na innowacyjnych rozwiązaniach synchronizacyjnych dla sieci pakietowych i aktywnie uczestniczył w rozwijaniu i standaryzacji synchronicznego Ethernetu i IEEE 1588™. Kenneth jest właścicielem licznych patentów związanych z synchronizacją. Jego córka Tanja rysuje piękne postaci zegarów.

LITERATURA

1. Ferrant, J-L., et al. Synchronous Ethernet: A Method to Transport Synchronization. IEEE Communications Magazine. Sep 2008
2. IEEE Std 1588TM-2008. IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems. Jul 2008
3. Ferrant, J-L., et al. Synchronous Ethernet and IEEE 1588TM in Telecoms: Next Generation Synchronization Networks. ISTE - Wiley, ISBN 978-1-84821-443-9. Jun 2013
4. Hann, K., Jobert, S., and Rodrigues, S. Synchronous Ethernet to Transport Frequency and Phase/Time. IEEE Communications Magazine. Aug 2012
5. Moreira, P., et al. 'White rabbit: Sub nanosecond timing distribution over Ethernet. International Symposium on Precision Clock Synchronization for Measurement, Control and Communication. Oct 2009
6. Ferrant, J-L., et al. Development of the First IEEE 1588TM Telecom Profile to Address Mobile Backhaul Needs. IEEE Communications Magazine. Oct 2010
7. Eidson, J.C., et al. IEEE-SA Conformity Assessment Program for IEEE 1588TM in Mobile Networks. IEEE- White Paper. Nov 2014.

SKRÓTY

A-PTS	Assisted Partial Timing Support
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
IoT	Internet of Things
PRC	Primary Reference Clock
PRTC	Primary Reference Time Clock
PTP	Precision Time Protocol
PTS	Partial Timing Support
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
TDM	Time-Division Multiplexing