

چگونگی همزمان کردن شبکه های مخابراتی

ناصر یوسف زاده اوصالو

دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران

Naser.yousefzadeh@gmail.com

آذربایجان غربی ارومیه بلوار ورزش خیابان شهید سلطانی کوچه ۱۴ متری دوم پلاک ۲ تلفن : ۳۴۵۷۳۵۸ ۰۴۴۱

چکیده:

همزمان کردن شبکه های مخابراتی برای سوئیچینگ و انتقال دیتا از اهمیت ویژه ای برخوردار است ، لذا سیستمهای مخابراتی موجود در این شبکه ها باید همزمان شوند. یکی از مسایل مهم در همزمانی ، کلاک نود می باشد که در واقع قلب شبکه های مخابراتی است که اگر کلاک سیستمها در یک شبکه سنکرون نشوند باعث تغییر در سرعت ارسال اطلاعات شده و در نتیجه خطا بوجود می آید، در این مقاله هدف ما انتخاب روشی برای همزمان کردن شبکه های مخابراتی و در نتیجه کاهش خطای انتقال و مقایسه نتایج بدست آمده برای انواع سرویسها می باشد.

کلمات کلیدی:

نود , کلاک , SDH , همزمانی شبکه , سوئیچینگ , سیگنال

(۱) مقدمه :

شبکه های حال حاضر به استفاده از تکنولوژیهای جدید توسعه می یابند و بسیاری از اپراتورهای شبکه بدون قانون به وجود می آیند . همزمانی شبکه برای سوئیچینگ خیلی مهم است و برای شبکه های انتقال و دیتا همانند PDH و SDH و ATM و SONET خیلی مهمتر می باشد . ضروریست که سیستم های مخابراتی در این شبکه ها سنکرون شوند .

۱ - ۱) نود های مخابراتی :

معمولاً در یک شبکه مخابراتی نودهای زیادی وجود دارند . یک نود می تواند یک سیستم یا سیستم های زیادی را به هم وصل کند مانند : یک ایستگاه رادیویی پایه یا یک سوئیچ تلفن (مرکز تلفن) یا مرکز انتقال دیتا . به طور کلی هر سیستم مخابراتی درون یک نود با کلاک نود همزمان می شود . [۴]

(۲ - ۱) کلاک نود :

کلاک نود در حقیقت قلب یک نود است . کلاک می تواند کنار یا همراه یک سیستم مخابراتی باشد مانند DCC یا SASE . کلاک نود همچنین منبع تایمینگ (BITS) یا واحد منبع همزمانی (SSU) نامیده می شود .

(۲) هدف از همزمانی شبکه :

اگر کلاکهای نود در یک شبکه مخابراتی به صورت غیر همزمان عمل کنند در آن هنگام نرخهای ارسال و دریافت سیستمهای مخابراتی در هر نود با نودهای دیگر متفاوت خواهد بود . در این حالت بافرهای ورودی سیستم های مخابراتی چندین بار سر ریز (Overflow) یا ته ریز (Underflow) خواهند گشت و باعث بوجود آمدن خطاهای دیتا می شوند . [۱،۲،۵].

هدف از همزمانی شبکه اجتناب و مینیمم کردن خطاها است . این امر فقط به وسیله همزمان کردن همه کلاکهای نود و همچنین همه سیستم های مخابراتی با مدیریت کلاک یکسان بدست می آید . نرخ خطاها بین سیستم ها توسط معادله زیر محاسبه می شود :

Equation 1:

$$\text{Slips per day} = \text{frequency difference} \times \text{traffic frames/second} \times \text{seconds/day (86400)}$$

جدول شماره (۱) اثر خطا روی سرویسهای مختلف را نشان می دهد و نرخهای خطا برای سیگنالهای ۸ کیلو فریم بر ثانیه زیر تغییرات فرکانسهای مختلف در جدول شماره (۲) نشان داده شده است :

نوع سرویس	اثر خطاها
صدا (بدون فشرده سازی)	۵ درصد خطاها به صداهای قابل شنیدن تبدیل می شوند.
صدا (فشرده سازی شده)	خطای را به صورت تیک ایجاد خواهد کرد.
تصویر رادیویی	یک خطا می تواند چندین خط را از بین ببرد.
مودم	یک خطا می تواند موجب چندین ثانیه حذف تصادفی شود.
فشرده سازی ویدئویی	یک خطا می تواند چندین خط را از بین ببرد. تعداد بیشتری از خطاها می توانند فریمها را برای چندین ثانیه از حرکت باز دارند.
پروتکل دیتای رمز شده	خطاها میزان انتقال اطلاعات را کم خواهند کرد.

جدول (۱) اثر خطاها بر سرویسها

اختلاف فرکانسی بین سیستمها	نرخ خطا برای سیگنالهای ۸ کیلو فریم بر ثانیه
.	.
10^{-11}	یک خطا در ۴،۸ ماه
10^{-10}	یک خطا در ۱۴،۵ روز
10^{-9}	یک خطا در ۱،۴۵ روز
10^{-8}	۶،۹ خطا در روز
10^{-7}	۲،۹ خطا در ساعت
10^{-6}	۲۸،۸ خطا در ساعت
10^{-5}	۴،۸ خطا در دقیقه

جدول (۲) اختلاف فرکانسی و نرخ خطاها

جدا از اختلاف فرکانسی اگر لولهای انحرافی از تفرانس ورودی سیستم های مخابراتی زیادتر گردند لغزش و خطا را سبب می شوند . انحراف در اثر مدولاسیون تدریجی کلاک یا سیگنالهای ترافیکی از موقعیت ایده آل آنها در زمان [۵] و در فرکانسهای خیلی کم (μ Hz) در خروجی فیلتر در یک شبکه همزمان شده که انحراف اجتناب ناپذیر است به وجود می آید . لولهای انحراف تولید شده توسط فیبر نوری و کابل مسی در معادلات (۲) و (۳) نشان داده شده اند

• [۱۰،۱۱]

Equation 2:

Wander generated by optical fibre cable
 $\approx 80\text{ps/km/}^{\circ}\text{C}$

Equation 3:

Wander generated by copper cable
 $\approx 725\text{ps/km/oC}$

(۳) توصیه های اتحادیه مخابراتی بین المللی (ITU) :

: ITU – T G . 823 (۱-۳)

تفرانس انحراف نسبی سیستم های مخابراتی در شبکه های دیجیتال ۲ مگا بیت بر ثانیه باید کمتر از ۱۸ میکروثانیه باشد . در عمل تفرانس انحراف نسبی بسیاری از سیستم های مخابراتی دقیقاً روی ۱۸ میکروثانیه است .

۳-۲) ITU – T G . 811 :

دقت (درستی) فرکانس می نیم یعنی افسست ماکزیمم فرکانس از UTC برای یک PRC دارای مقدار 10^{-11} می باشد . بنابراین ماکزیمم اختلاف فرکانسی بین هر دو PRC شبکه های همزمان شده ۱ خطا در 2.4 ماه برای سیگنالهای ۸ کیلو فریم بر ثانیه یا سیگنالهای ۶۴ کیلو بیت بر ثانیه و ۲ مگا بیت بر ثانیه است .

۳-۳) ITU – T G . 822 :

برای اتصال ترافیکی دو طرفه بین المللی انتها به انتها نشان داده شده در شکل ۱ نرخهای جزئی عبارت است از : ۱ خطا در $(n-1)/۷۲$ روز که n تعداد PRC های همزمانی مجازی (ساختگی) در طول اتصال ترافیکی دو طرفه می باشد . توجه کنید که این معادله قابل اجرا در اتصالات ترافیکی دو طرفه بین المللی می باشد .

برای مقوله (a) عملکرد ترافیکی ماکزیمم نرخ خطا ۵ خطا در روز (۲۴ ساعت) می باشد . برای بیشتر از ۹۸.۹ % زمان مطابق با معادله (۱) کل ماکزیمم اختلاف فرکانسی در طول یک اتصال ترافیکی دو طرفه همزمانی ساختگی (کاذب) 7.2×10^{-9} است و فقط برای کمتر از ۱.۱ درصد زمان ارتباط بین مقوله (a) عملکرد ترافیکی PRC قابل دسترسی کلاک نود در دسترس و لینک قابل دسترسی می تواند توسط معادله ۴ بیان شود .

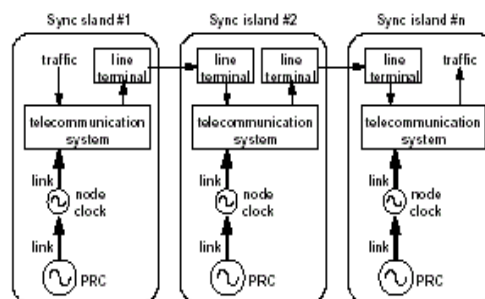
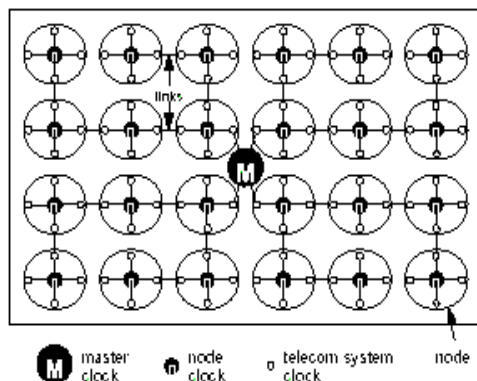
Equation 4:

$$0.989 \approx (PRC_{avail})^x \times (nodeclock_{avail})^y \times (link_{avail})^z$$

X : کل تعداد PRC های در طول اتصال ترافیکی دو طرفه انتها به انتها

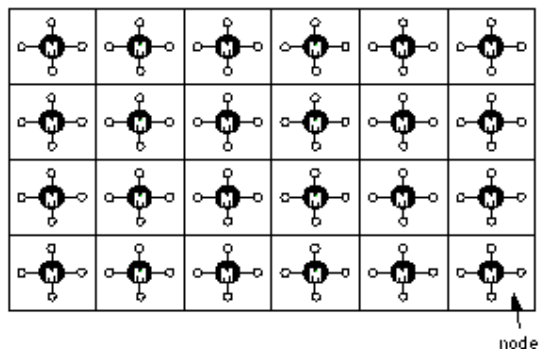
Y : کل تعداد کلاکهای نود در طول اتصال ترافیکی دو طرفه انتها به انتها

Z : کل تعداد لینکهای بین PRC و کلاکهای نود و کل تعداد لینکهای بین کلاکهای نود و سیستم های مخابراتی در طول اتصال ترافیکی دو طرفه انتها به انتها



شکل ۲) کلاک اصلی شبکه همزمانی متمرکز

شکل ۱) مدل شبکه همزمانی مجازی شده



شکل ۳) کلاکهای اصلی به صورت کامل توزیع شده

۴) نیازمندیهای طراحی شبکه همزمانی :

برای نگهداری شبکه همزمانی در مقابل نقصها اندیشه های زیر لازمند :

۱-۴) PRC به صورت داخلی یا خارجی دو تایی یا سه تایی (۱ + ۱ یا ۲ + ۱) حفاظت می شود .

۲-۴) کلاکهای نود به صورت داخلی ۱ + ۱ حفاظت می شوند .

۳-۴) کلاکهای نود دو یا چند اتصال گوناگون به یک PRC دارند .

۴-۴) سیستمهای مخابراتی دو یا چند اتصال به کلاک نودشان دارند .

۵) روشهای سنکرون کردن شبکه های مخابراتی :

۵-۱) تمرکز کلاک جامع شبکه همزمانی :

کلاک اصلی متمرکز شده شبکه همزمانی فقط یک کلاک اصلی فعال دارد (شکل ۲) . کلاک اصلی به صورت منطقی در مرکز شبکه همزمانی قرار گرفته است و کلاکهای نود به طور مستقیم یا غیر مستقیم به آن وصل می شوند . از آنجاییکه هر کلاک نود و کلاک سیستم مخابراتی مثل کلاک اصلی در فرکانس

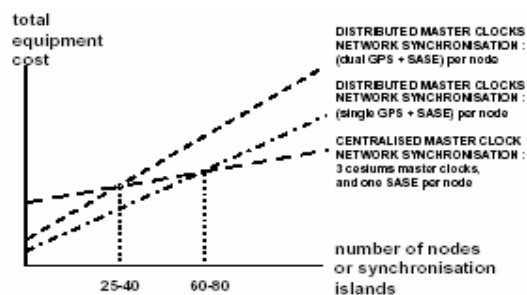
یکسانی کار می کنند لذا هیچ اختلافی در ارسال و دریافت نرخهای ترافیکی بین نودها وجود ندارد .
[۱۰،۱۱]

همچنین سیگنالهای همزمانی باید روی اتصالات SONET یا SDH مثل سیگنالهای جمع شده یا روی اتصالات PDH خالص مثل سیگنالهای فرعی منتقل شوند . از این رو فقط اپراتورهای شبکه ای که همه لینکهای انتقالشان SONET یا SDH و یا PDH را دارند باید به صورت متمرکز با کلاک اصلی همزمان شوند .

۵-۲) کلاک های اصلی توزیع شده شبکه همزمانی :

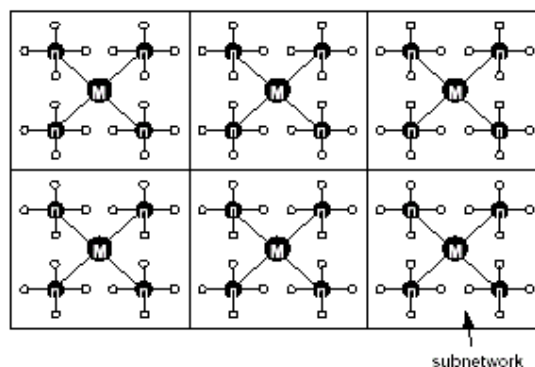
کلاک های اصلی توزیع شده شبکه همزمانی یکی از کلاک های اصلی همزمانی کاذب فعال را دارد . طراحی و اجرا کردن یک گروه از زیر شبکه های همزمانی کوچک آسانتر از طراحی و اجرای یک شبکه همزمانی بزرگ است . در زیر شبکه ها به عنوان PRC ، انحراف کمتری وجود دارد . از نظر عملی گسترش کلاکهای اصلی شبکه همزمانی توزیع شده به صورت کامل در شکل (۳) آمده است . اما توسعه کلاکهای سزیم در هر نود به قیمت گزافی تمام می شود . در روش اقتصادی برای تولید کلاک اصلی مورد نیاز از تایمینگ گیرنده های ناوبری همچون GPS استفاده می شود . اگر چه گیرنده GPS پایه کوچک و گران است ولی باید GPS پایه به یک SASE گران و بزرگ جهت بدست آوردن عملکرد PRC وصل شود .

به صورت ایده آل باید دو گیرنده GPS در هر نود به منظور فراهم نمودن حفاظت لازم و قابلیت دسترسی نصب گردد . بنابراین این عمل از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست که کلاکهای اصلی GPS توزیع شده شبکه همزمانی برای شبکه های خیلی بزرگ با بیشتر از ۴۰ نود گسترش یابند .



شکل (۴) مقایسه کلاک اصلی متمرکز شده در مقابل کلاکهای اصلی توزیع شده در شبکه همزمانی

از نظر اقتصادی توسعه دادن کلاک اصلی شبکه همزمانی که هر کلاک اصلی مسئولی برای همزمانی ناحیه ای از زیر شبکه می باشد مثل شکل (۵) مقرون به صرفه است .

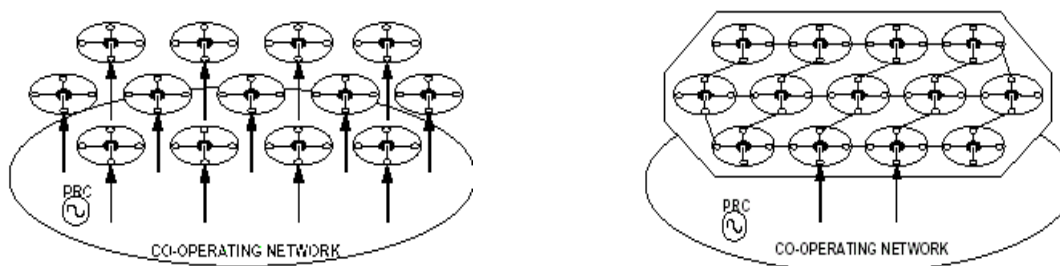


شکل ۵) اندکی از کلاکهای اصلی توزیع شده

توجه کنید که سیگنالهای Off-Air از ماهواره های GPS می توانند به صورت عمدی یا نداشتنه توسط یک فرستنده محلی پرازیت پخش کنند و نیز سیگنالهای یاد شده می توانند توسط مانعی سد شوند . در برخی نواحی اجازه طراحی نفوذ منطقه لازم می دارد که آنتن های بد نما نصب شوند . بعلاوه آنتن های GPS اکتیو توسط اصابت رعد و برق خسارت می بینند و دیگر اینکه طول کابل کواکسیال از آنتن ها محدود می شود (به طور مثال ۱۰۰ متر بیرون از مبدل پایینی) . بسیاری از گیرنده های GPS محتاطانه استفاده می شوند زیرا دسترسی به انتقال یا دریافت GPS نمی تواند ضمانت شود .

۵-۳) سیگنالهای کلاک از یک اپراتور شبکه :

اگر یک شبکه همکار (یا همجوار) سیگنال های کلاک اصلی را داشته باشد راحت تر است که طراح شبکه (در تئوری) از آنها در همزمانی شبکه استفاده کند. در این حالت شبکه همزمان شده به وسیله شبکه همکار (یا همجوار) کنترل شده و هر دو شبکه در فرکانس برابر عمل (کار) می کنند . همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است سیگنالهای کلاک از یک شبکه همکار (یا همجوار) می توانند در گذرگاه همزمانی محدودی از نودها یا همانند شکل ۷ در هر نود دریافت شوند . شکل ۶ معادل تمرکز کلاک اصلی شبکه همزمانی و شکل ۷ معادل کلاکهای اصلی توزیع شده شبکه همزمانی است .

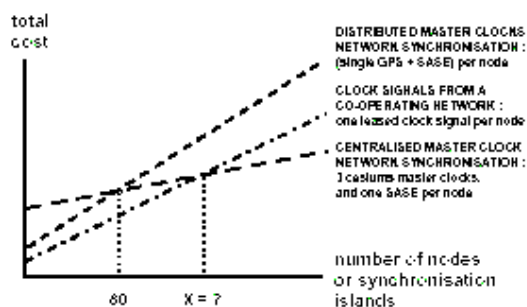


شکل ۷) سیگنالهای کلاک از یک اپراتور شبکه

شکل ۶) سیگنالهای کلاک از یک اپراتور شبکه به دونود ورودی

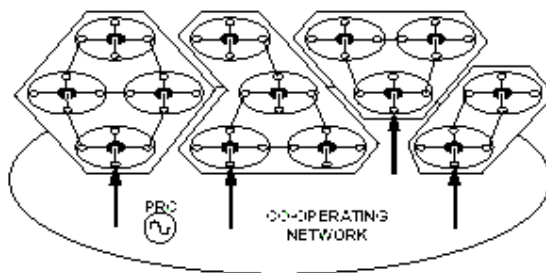
به هر نود

اگر یک اپراتور شبکه همکار (همجوار) سیگنالهای کلاک اصلی را ضمانت کند پس از آن معمولاً یک ارزش خیلی مهمی وجود دارد. هزینه کانال ارتباطی اجاره شده بسیاری از سیگنالهای کلاک می توانست بسیار بالا باشد و بنابراین روش فوق برای شبکه های بزرگ یا بسیاری از نودها همانند شکل ۸ غیر اقتصادی خواهد بود.



شکل ۸) مقایسه استفاده از سیگنالهای کلاک از یک اپراتور شبکه در مقابل کلاکهای اصلی توزیع و متمرکز شده شبکه های همزمانی

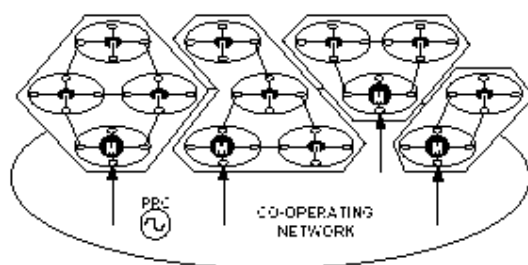
همانند شکل ۹ یک راه حل کاهش هزینه استفاده تعداد کمی از سیگنالهای کلاک اصلی از شبکه همجوار به منظور همزمان کردن تعداد اندکی از زیر شبکه می باشد.



شکل ۹) سیگنالهای کلاک از یک اپراتور شبکه به ۴ زیر شبکه

۶) کدام شیوه همزمانی شبکه :

جدول شماره ۳ خلاصه ای از روشهای همزمانی شبکه را نشان می دهد . برای هر روش همزمانی شبکه یک راه حل بهینه وجود دارد که همه روشهای ذکر شده در بالا را در بر گیرد . شکل ۱۰ یک شبکه همزمانی جز بندی شده ای را در مقدار کمی از زیر شبکه های همزمان شده ای که به صورت انفرادی همزمان می شوند توسط یک PRC اولیه و یک کلاک ثانویه از یک شبکه همکار (همجوار) نشان می دهد •



شکل ۱۰ همزمانی شبکه های بیرید

Synchronisation method	Network planning	Chance of creating timing loops	Network wander level	Nominal on-net slip rate	Synchronisation links required between nodes	Network size for optimum cost
Centralised master clock	Slightly Difficult	Very low if the sync plan is well designed	High for large networks covering wide areas	Nil, if the network wander levels are within limits	Own SONET or SDH aggregate. Own or leased tributaries over pure PDH connections	>40 nodes
Fully distributed master clocks	Very easy	Impossible	Negligible	1 slip in $\frac{72}{(n-1)}$ days n = number of master clocks	None	<40 nodes
Partially distributed master clocks	Easy	Very low for small sub-networks with well designed sync plans	Low for small sub-networks	1 slip in $\frac{72}{(n-1)}$ days n = number of master clocks	Own SONET or SDH aggregates. Own or leased tributaries over pure PDH connections	<40 sub-networks
Fully distributed clock signals from a co-operating network	Very easy	Impossible	Dependent on the co-operating network	Zero for on-net and off-net traffic to the co-operating network	None	Depends on the cost of leased clock signals
Partially distributed clock signals from a co-operating network	Easy	Very low for small sub-networks with well designed sync plans	Dependent on the co-operating network	Zero for on-net and off-net traffic to the co-operating network	Own SONET or SDH aggregates. Own or leased tributaries over pure PDH connections	Depends on the cost of leased clock signals

جدول ۳) خلاصه خصوصياتی برای روشهای همزمانی شبکه های مختلف

۷) نتایج و پیشنهادات :

هر روش برای همزمان ساختن شبکه ها مزایا و محدودیتهای منحصر به فرد خاص خودش را دارد و یک راه حل کلی برای هر شبکه وجود ندارد . هر چند پیشنهادات زیر به صورت کلی قابل اجرا هستند .

۷-۱) اگر یک شبکه ترافیکی برای استفاده لینکهای انتقال PDH یا SONET و یا SDT ایجاد می شود هر روش همزمانی فوق الذکر می تواند مورد استفاده قرار گیرد .

هر چند راه حل بهینه برای یک شبکه با بیش از ۴۰ نود روی کلاک اصلی همزمانی شبکه متمرکز می شود .
۷-۲) اگر یک شبکه ترافیکی برای استفاده انشعابات SDH یا SONET ایجاد می شود بنابراین کلاک های اصلی توزیع شده همزمانی شبکه و یا سیگنالهای کلاک توزیع شده از یک شبکه همجوار می تواند

گسترش یابد . توجه کنید که آخرین روش فقط زمانی پیشنهاد می شود که اگر سیگنال های کلاک معین و ضمانت به داشتن دسترسی بسیار بالایی به عملکرد 811 . T G - ITU داشته باشند .

(۳-۷) اگر یک کلاک اصلی توزیع شده شبکه همزمانی پیدا شود که سطح انحراف زیادی داشته باشد یعنی اندازه گیری های خطای فاصله زمانی ماکزیمم (MTIE) و اختلاف زمانی (TDEV) بالای توصیه های بین المللی را داشته باشد لازم است که کلاک اصلی توزیع شده شبکه همزمانی پذیرفته شود . همچنین یک راه حل اولیه همزمانی اصلی را می توان نسبت به راه حل های دیگر در فازهای مختلف شبکه که استراتژی همزمانی شبکه می توانست باشد را استنتاج کرد :

(a) فاز ۱ : سیگنالهای کلاک توزیع شده به صورت کامل از یک شبکه همجوار (همکار) .

(b) فاز ۲ : کمی از کلاک های اصلی توزیع شده GPS و سیگنالهای کلاک از شبکه همجوار (همکار) به عنوان پشتیبان .

(c) فاز ۳ : کلاک اصلی سزیم فشرده شده و کمی کلاک های اصلی GPS توزیع شده به عنوان پشتیبان .

PDH : Plesiochronous Digital Hierarchy
SDH : Synchronous Digital Hierarchy
SONET : Synchronous Optical Networks
ATM : Asynchronous Transfer Mode
DCC : Digital Cross-Connect
SASE : Stand-Alone Synchronisation Equipment
BITS : Building Integrated Timing Supply
SSU : Synchronisation Supply Unit
UTC : Co-Ordinated Universal Time
MTIE : Maximum Time Interval Error
TDEV : Time Deviation

مراجع و مآخذ:

1. Smith R. and Millott L.J. "Synchronisation and Slip Performance in a Digital Network", BT Engineering Vol 3 July 1984
2. Kearsey B.N. and McLintock R.W. "Jitter in Digital Telecommunication Networks", BT Engineering Vol 3 July 1984
3. Mulvey M., Kim I.Y., and Reid A.B. "Timing issues of constant bit rate services over ATM", BT Technical J Vol 13 No 3 July 1995
4. ITU-T G.803 "Architectures of transport networks based on the synchronous digital hierarchy (SDH)"
5. ITU-T G.810 "Considerations on timing and synchronisation issues"
6. ITU-T G.811 "Timing requirements at the outputs of primary reference clocks suitable for plesiochronous operation of international digital lines", 1988
7. ITU-T G.812 "Timing requirements at the outputs of slave clocks suitable for plesiochronous operation of international digital links", 1988
8. ITU-T G.822 "Controlled slip rate objectives on an international digital connection"
9. ITU-T G.823 "The control of jitter and wander within digital networks which are based on the 2048 kbit/s hierarchy"
10. Bellcore GR-436-CORE "Digital network synchronization plan"
11. Bellcore SR-NWT-002224 "SONET synchronization planning guidelines"