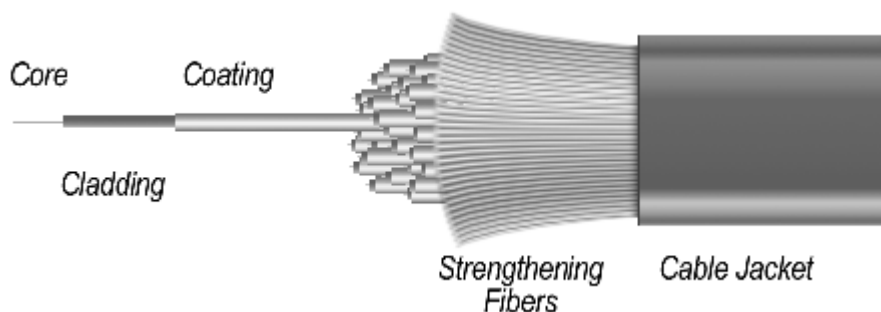


2. Projektowanie optymalnych sieci optycznych¹

2.1. Najprostsza sytuacja: włókno punkt-punkt używane dla przedłużenia sieci LAN

2.1.1. Typy włókien

Istnieją dwa podstawowe typy światłowodów, które są powszechnie stosowane: wielomodowe i jednodomowe. Włókno wielomodowe posiada duży w stosunku do długości fali świetlnej (~1.3 mikrona) rdzeń – typowo 62.5 mikrona. Stosunkowo duży rozmiar światłowodu wielomodowego oznacza, że światło „wstrzykiwane” w jeden koniec światłowodu rozchodzi się wzdłuż niego przenosząc się poprzez wiele różnych ścieżek (*paths*) na drugi koniec.



Rys. 2.1. Elementy wielowłóknowego kabla światłowodowego

Niektóre z tych ścieżek są stosunkowo krótkie i proste, podczas gdy inne są dłuższe i powodują wielokrotne odbicie światła. Takie różnice w długościach ścieżek spowodowały powstanie tzw. *dyspersji modowej* (pulsujące rozprzestrzenianie się lub "zamazanie" kształtu fali w stosunku do oryginału wstrzykiwanego do światłowodu). Dyspersja modowa ogranicza stosowanie wielomodowych światłowodów do stosunkowo krótkich odcinków – typowo nie więcej niż 100 m dla Gigabit Ethernet (1000Mbps) lub kilka kilometrów dla Fast Ethernet (100Mbps).

Dlaczego, przy tak stosunkowo krótkich dopuszczalnych odcinkach, stosowano światłowody wielomodowe? Przede wszystkim, światłowody wielomodowe były dostępne wcześniej niż światłowody jednodomowe. Zatem duża ilość włókien wielomodowych była instalowana wówczas, gdy było to jedynym rozpowszechnionym rozwiązaniem, a szybkości gigabitowych nie było jeszcze na horyzoncie. Były to czasy, kiedy kilka kilometrów przy szybkości Fast Ethernet brzmiało prawdopodobnie jako więcej niż dostateczny zasięg.

¹ Tłumaczenie: Strukiel Daniel, Ruciński Jarosław, Łobodziec Jacek, Wilk Adrian.
Źródło: <http://www.fiber.html>

Nawet obecnie, światłowody wielomodowe są nadal instalowane w niektórych przypadkach, ponieważ są względnie niedrogie i dobrze pracują na ograniczonych odległościach (np. wewnątrz budynku). Ponadto nadajnik-odbiornik² wielomodowy (urządzenie, które wtryskuje i przyjmuje światło w kablach światłowodowych) kosztuje zwykle mniej niż jednodomowy nadajnik-odbiornik.

Z kolei dla dłuższych dystansów światłowód jednodomowy jest oczywistym wyborem. Światłowód jednodomowy posiada stosunkowo cienki rdzeń (typowo 8-9 mikronów), za pomocą tego faktycznie wyklucza kwestię dyspersji modowej. W przypadku światłowodów jednodomowych pierwszym czynnikiem powodującym ograniczenia jest tłumienność lub spadek mocy sygnału optycznego wraz z rozchodzeniem się jego wzdłuż światłowodu.

2.1.2. Obliczenie zasięgu światłowodów jednodomowych

Przezroczystość włókien na światło zmienia się w zależności od długości fali. Przy czym dla jednych długości utrata mocy jest znacznie gwałtowniejsza niż dla pozostałych. Dla większości światłowodów pierwsze okno optyczne (zakres długości fali przedstawiający najmniejsze tłumienie optyczne) przypada na 1300nm. Aczkolwiek, zamiast nich, przy dalekosiężnej transmisji, są instalowane inne typy światłowodów, dla których pierwsze okno optyczne przypada na 1550nm.

Tłumienność lub utrata mocy optycznej jest zwykle podawana w jednostkach dB/km. Przy 1300nm światłowód jednodomowy ma typową tłumienność 0.3dB/Km, a w najgorszym przypadku 0.5dB/km. Dodatkowa moc jest tracona na spawach³ (jeżeli takie są) oraz w złączach⁴ na obu końcach kabla. Można przypuszczać, że spawy typowo wyczerpują 0.06dBm każdy, a złącza powodują straty od 0.5 do 1.0dBm każdy.

Dwa dodatkowe czynniki oddziałują na maksymalną odległość transmisji. Po to, żeby obliczać dostępny bilans strat włókna, trzeba znać także moc nadajnika światłowodowego i czułość światłowodowego odbiornika.

Dla przykładu rozważmy nadajnik optyczny Foundry Networks Gigabit LX, który posiada minimalną moc wyjściową -11.5dBm, a odbiornik optyczny posiada minimalną czułość -20dBm. Odejmując czułość odbiornika od mocy zasilania otrzymujemy $(-11.5) - (-20) = 8.5$ dBm dostępnej mocy. Jeżeli założymy brak strat na spawanie i odejmiemy 2dBm straty dla złącz na obu końcach, to daje nam 6.5dBm na pokonanie tłumienności samego światłowodu. Przy 0.3dB/Km powinniśmy być (teoretycznie) w stanie pokonać dystans $6.5/0.3 = 21.66$ Km lub nieco ponad 20 kilometrów.

² transceiver

³ splice points

⁴ connectors

W przypadku większych odległości należy: zwiększyć moc światła dostarczanego do światłowodu, zwiększyć czułość odbiornika na drugim końcu lub użyć włókna, które posiada mniejszą tłumienność na kilometr.

Aby rozważyć tylko jeden prosty przykład, jak można pójść dalej ze standardowym gigabitowym interfejsem LX, można wspomnieć o istnieniu interfejsu gigabitowego dalekiego zasięgu zwanego "LHB," który ma bilans mocy równy 29dB minimum. Zakładając nawet 3dB wartość straty związaną z łącznikami i innymi różnymi przyczynami oraz zakładając, że można zmniejszyć tłumienie do 0.2dB/Km kabla, można teoretycznie uzyskać $26/0.2 = 130\text{Km}$ (w rzeczywistości, dzięki różnorodnej odmianie produkcji i instalacji, tak naprawdę nie wiadomo, jak daleki będzie zasięg, dopóki właściwie nie przetestuje się określonego światłowodu ze konkretnym nadajnikiem i odbiornikiem).

Dlaczego ma znaczenie zasięg światłowodu? Rozważmy hipotetycznie połączenie światłowodowe pomiędzy Eugene'em i Salem, przy minimalnej odległości około 70 mil (albo z grubsza 110 Km). Jeżeli mieliśmy światłowód i wyposażenie, które mogłoby poradzić sobie z odległością 130Km, moglibyśmy zapewnić tę całą rozpiętość bez potrzeby dostępu do światłowodu w jakimkolwiek pośrednim punkcie. Oznacza to wielką wygodę i oszczędności kosztów, jeżeli nie potrzebowalibyśmy dodatkowej elektroniki, ani żadnych urządzeń, w których była by ona umieszczona).

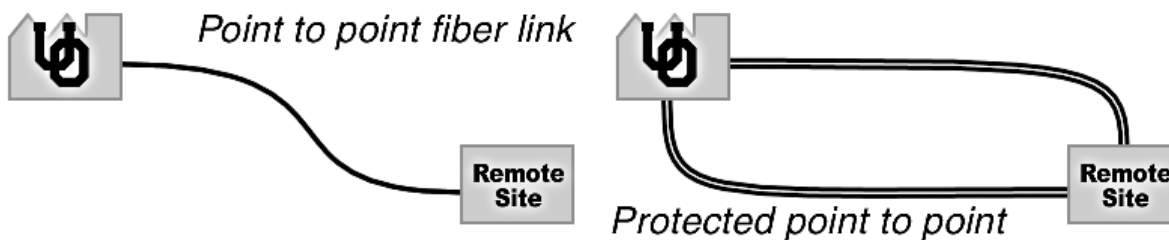
2.1.3. Wymagana liczba wiązek światłowodów

Tak, jak normalnie potrzeba pary przewodów, by dostarczyć elektryczność, tak, by normalnie umożliwić dostęp do sieci potrzeba pary światłowodów.

W wielu powszechnych projektach sieci potrzeba stosowania więcej niż dwóch światłowodów, chociaż w uproszczeniu można właściwie użyć tylko pojedynczego światłowodu. Aby zrozumieć dlaczego, trzeba rozwinąć pesymistyczne "sposoby budowania sieci" zdając sobie sprawę z tego, że z jakimkolwiek stosowanym światłowodem związane są rozmaite uszkodzenia, czy to wywołane wadami mechanicznymi czy też katastrofami naturalnymi (nawet gryzoniami) i wszystkie one wpływają na utratę spójności przez sieć.

Normalnym rozwiązaniem tego problemu jest rozmieszczenie redundancji światłowodu wzdłuż dwóch fizycznie oddzielnych tras, tym samym zabezpieczając, że, jeżeli uszkodzeniu ulega para aktualnie używanych światłowodów, ruch automatycznie przekierowany zostanie na parę zapasową ("ochrona"). Nie jest to szczególnie eleganckie rozwiązanie ani szczególnie tanie, ale,

jeżeli układ jest decydujący, albo, jeżeli to przebiega przez trudno dostępne obszary, gdzie szybkie naprawy byłyby trudne, rutyną jest wykonywanie zapasów nawet, jeżeli oznacza to podwojenie kosztów.



Rys. 2.2. Niechronione i chronione łącza światłowodowe typu punkt-punkt.

Co w przypadku, jeżeli posiadamy tylko jedną wiązkę światłowodu? Czy staje się ona kompletnie nieprzydatna? Nie, dzięki użyciu urządzenia zwanego "*fiber singler*" albo "*single fiber full duplex unit*", którym można przesłać ruch w obu kierunkach przez pojedynczy kawałek szkła. Ruch idący w jednym kierunku jest wysłany na jednej długości fali (n.p. 1310nm), podczas, gdy ruch idący w innym kierunku jest wysłany na innej długości fali (n.p. 1550nm). Przykłady tego typu produktu zawierają L65x Perkins Canoga, 6001 *fiber singlers* i rodzina produktów NBase's Single Fiber Full duplex.

2.1.4. Wymagana szerokość pasma

W połączeniach punkt-punkt za pomocą światłowodów jednomodowych wykorzystywanych do rozszerzenia sieci LAN i utrzymujących szybkości transmisji 100Mbps (prędkość Fast Ethernet) lub 1000Mbps (prędkość Gigabit Ethernet), dla większości przypadków prostą jest sprawa wyboru odpowiednich interfejsów celem przyłączenia do każdego końca.

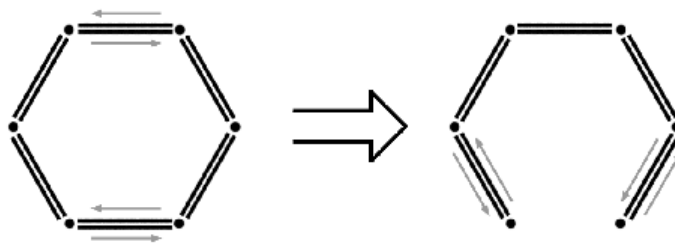
Jeżeli nie ma potrzeby rozmieszczenia ogromnej liczby obwodów optycznych, dogodnie i ekonomicznie (taniej niż \$1,000 za podłączenie) jest łączyć konwencjonalną sieć 100baseT z łączami światłowodowymi za pomocą przetworników światłowodowych, takich jak Allied Telesyn's AT-FS201/202, które konwertują połączenia 10/100baseT (kabel miedziany - skrętka) na 100baseT (światłowód). Urządzenia te są dostępne w konfiguracjach, które zapewniają zasięg od kilku kilometrów do ponad 100 kilometrów.

Przy prędkościach gigabitowych połączenia będą bezpośrednio realizowane pomiędzy przełącznikami (switch) lub routerami gigabitowymi.

2.2. Sieci o bardziej złożonych topologiach

2.2.1. Dodawanie większej ilości sektorów do sieci wykorzystującej pierścienie SONET

Co dzieje się, kiedy my potrzebujemy dodania większej ilości miejsc do sieci? Tradycyjnie, kiedy rozbudowuje się sieć ponad zwykłe łącze światłowodowe punkt-punkt, instaluje się topologie pierścieniowe SONET. Można je sobie wyobrazić jako dwa pierścienie światłowodowe pracujące w przeciwnych kierunkach. Te dwa pierścienie pracują przy użyciu dwóch oddzielnych fizycznie włókien: jedno jest aktywne, a drugie pełni rolę zapasu (zabezpieczenia). Każdy taki węzeł posiada cztery łącza światłowodowe (dodatkowo dla łącza aktywnego i zapasowego). W przypadku awarii pierścienia SONET zwyczajnie przełączy ruch (szybkość przełączenia wynosi około 50ms). Pierścienie SONET doskonale radzą sobie również ze złożonymi kategoriami transmisji, jak przesył danych połączony z przekazem sygnałów mowy lub też przesył danych połączony zarówno z sygnałami audio i video.



Rys. 2.3. Pierścienie SONET

Niestety, pierścienie SONET posiadają również wady. Dla przykładu multipleksery OADM⁵ SONET-u („MUXes” lub „ADMs”), urządzenia, które tworzą ruch do lub z pierścienia SONET, są dość drogie. Jeżeli z pieniędzem jest ciasno, kręte koszty tych multiplekserów SONET (od dziesięciu tysięcy do setek tysięcy dolarów inwestycji) mogą być pokaźną przeszkodą, kiedy dochodzi do stworzenia rozdzielanej infrastruktury włókien optycznych.

Po drugie, pierścienie SONET tradycyjnie alokują swoją dostępną pojemność na stałych zasadach, stosując technologię zwielokrotniania z podziałem czasu (TDM⁶). TDM dzieli dostępną pojemność pierścienia optycznego SONET na kilka przedziałów czasowych. Przedział taki, zarezerwowany dla przepływu danych⁷ szczególnego uczestnika (partnera), nie jest dostępny dla pozostałych. Oznacza to, że pojemność pierścieni jest często marnowana, podczas gdy dla jednego

⁵ Optical add/drop multiplexers

⁶ Time Division Multiplexing

⁷ traffic

przepływu całkowita pojemność nie jest wykorzystywana, innemu pozostaje przyporządkowana pojemność niewystarczająca.

Po trzecie, tradycyjne multiplexery SONET-u ADM posiadają ograniczoną prędkość przepływów. Przepływy to bezpośrednie połączenia do pierścienia SONET, albo do określonego użytkownika lub połączenia do wolniejszych podporządkowanych pierścieni SONET.

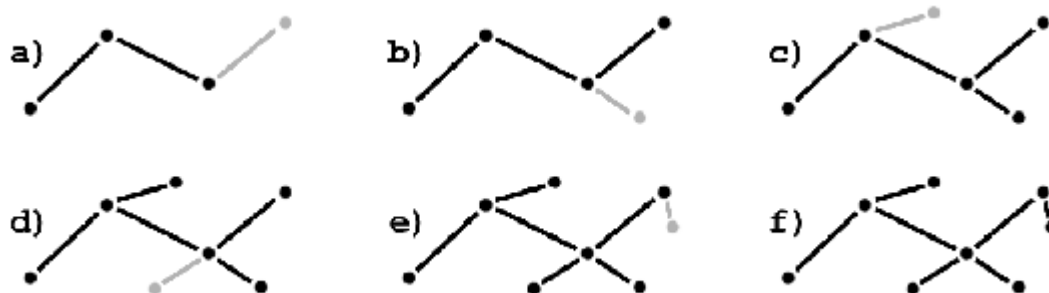
Można powiedzieć, że jeżeli podstawowy pierścień SONET pracuje na szybkości OC48 (2.5Gbps), wówczas typowy OADM (taki jak Fujitsu FLM 2400) podłączony do tego pierścienia może jedynie podtrzymać prędkości przepływu OC12 (622Mbps), OC3 (155Mbps) i DS3 (45Mbps). Żeby rozwijać powolniejsze szybkości, takie jak w obwodach T1 (1.5Mbps), typowo pracuje się na połączeniu kaskadowym pierścieni SONET działających na niższych prędkościach. Aby móc wydzielić obwody T1 najpierw buduje się pierścień OC3, podłączony do pierścienia OC48, a następnie używając wolniejszych ADM (takich jak Fujitsu FLM 150) wydziela się T1 z pierścienia OC3. Oczywiście, instalacje potrzebne do tego typu struktury sieci hierarchicznej (pierścienie połączone z pierścieniami) dodają się do kosztów związanych z rozmieszczaniem systemu SONET.

Zgodnie z powyższym (włączając w to specjalne wymagania związane z urządzeniami testującymi, ze szkoleniem pracowników itp.), jeżeli istnieje możliwość uniknięcia stosowania pierścieni SONET, można bardzo uprościć tworzoną sieć i tym samym uniknąć zbędnych kosztów.

2.2.2. Dodawanie użytkowników przez rozbudowę technologii obwodów punkt-punkt

Co można zrobić, jeśli naszym celem jest dodanie większej ilości użytkowników, ale unikając rozwoju pierścieni bazujących na SONET? Nie trzeba dużej wyobraźni żeby zobaczyć, że my mogliby rozprzestrzenić podstawowe połączenia punkt-punkt.

W przypadku konieczności podłączenia większej liczby użytkowników do sieci istnieje możliwość zastosowania sieci o *topologii drzewa*. Polega ona na tym, że każdy użytkownik sieci jest połączony z innym, najbliższym niego użytkownikiem, korzystającym z łącza punkt-punkt. Sieci o topologii drzewa niestety nie są zbyt solidne: użytkownicy znajdujący się na przeciwnych, oddalonych od siebie końcach „gałęzi” są podatni na zakłócenia gdziekolwiek, pomiędzy nimi a „pniem” drzewa. Ruch generowany przez niektórych użytkowników znajdujących się na końcach „gałęzi” może być monitorowany lub zakłócany przez strony pośredniczące, przez które on przechodzi. Może się również zdarzyć sytuacja, kiedy nie będzie zapewnionej wystarczającej pojemności na zaspokojenie potrzeb związanych z dzielonym strumieniem.



Rys. 2.4. Przykład sieci o topologii drzewa (nowododani użytkownicy są przedstawieni za pomocą jaśniejszych linii)

Bardziej elastyczną topologią byłyby topologia gwiazdy lub topologia centralnego węzła rozgłaszającego⁸, gdzie wszyscy oddaleni użytkownicy podłączeni są bezpośrednio do pojedynczego centralnego hub-a. Tak długo, jak zapewniona jest wystarczająca liczba światłowodów pomiędzy każdym oddalonym użytkownikiem, a centralnym hubem, umiarkowanie prostą sprawą jest budowa tego typu sieci z obwodów punkt-punkt. Każde łącze mogłoby pracować na innej prędkości niż pozostałe – dla przykładu, niektóre łącza Fast Ethernet, inne Gigabit Ethernet – i problemy związane z jednym z nich nie wpływałyby na pozostałe. Z drugiej jednak strony utrata centralnego hub-a mogłaby rozłączyć wszystkie pozostałe, gdyż centrum gwiazdy jest źródłem wysoce niepożądanych „usterek pojedynczego punktu”.



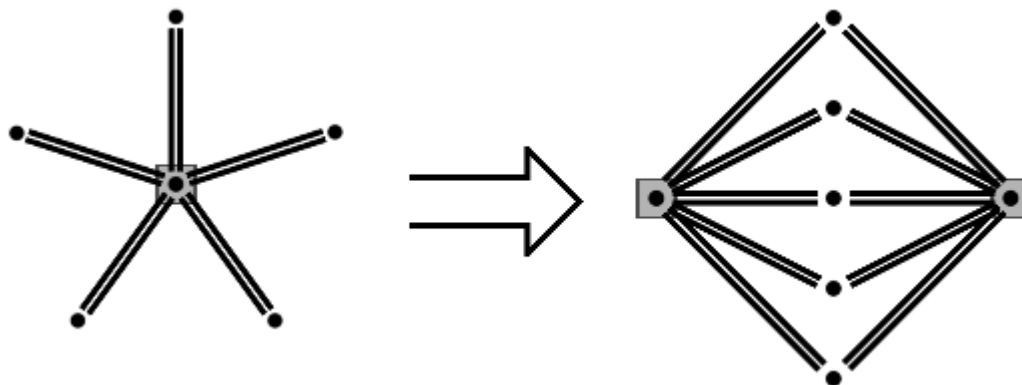
Rys. 2.4. Przykład topologii „gwiazdy”, z nowymi partnerami podłączanymi z centralnego hub-a

Jednym ze sposobów uniknięcia postawienia hub-a w roli „pojedynczego punktu niepowodzenia” byłoby połączenie każdego użytkownika parą dwóch fizycznie oddzielnych światłowodów z jedną parą od każdego użytkownika idącą do głównego, centralnego hub-a i drugą (zapasową) parą idącą do innego, alternatywnego hub-a.

Trzymając się tego podejścia, my dostajemy ulepszoną wytrzymałość, ale to zwiększa koszty: ilość wymaganych włókien światłowodowych podwaja się, jak i ilość optycznych nadajników i odbiorników. Odzyskanie w wypadku niepowodzenia hub-u ("rekonwergencja") ma

⁸ hub-and-spoke

również tendencję zajmowania dłuższego czasu niż przy rozwiązaniach opartych o SONET, trwając kilka sekund, nieco więcej niż doli sekundy (jak to jest w sytuacji SONET).



Rys. 2.6. Przykład topologii gwiazdy z rezerwowym hub-em

Uważa się, że typ topologii z rezerwowymi hubami lub też bardziej wyrafinowane projekty bazujące na tych podstawach mają ogromny potencjał związany z rozjaśnieniem ciemnych światłowodów, szczególnie, jeśli uświadomimy sobie fakt, iż mogą one być wykorzystane do zmniejszenia części kosztów rozwiązań bazujących na systemie SONET.

Bibliografia

1. 3Com: Gigabit Ethernet Comes of Age,
http://www.3com.com/technology/tech_net/white_papers/503003.html
2. Allied Telesyn Media Converters, http://www.alliedtelesyn.com/products/conv_feth.htm
3. Building New Generation MANs,
<http://www.extremenetworks.com/technology/whitepapers/MANWhite.pdf>
4. "Canoga Perkins Wavelength Division Multiplexers", <http://www.canoga.com/wdm.htm>
5. Dynamic Packet Transport Technology and Applications,
http://www.cisco.com/warp/public/cc/cisco/mkt/servprod/opt/dpt/dpta_wp.htm
6. Fiber Driver Single Fiber, http://fiberdriver.nbase.com/single_fiber.html
7. Fiber Optic Cable Tutorial, <http://www.arcelect.com/fibercable.htm>
8. FNC - Technology Transmission Products FLM 2400 ADM,
http://www.fnc.fujitsu.com/products/view_294.html
9. Foundry Networks Gigabit Info Center High Performance LAN Alternatives,
<http://www.foundrynet.com/wpvol1.html>
10. Foundry Networks - Service & Support FAQs – Media,
<http://www.foundrynet.com/genFaqMedia.html>

11. Gigabit Campus Network Design,
http://www.cisco.com/warp/public/cc/sol/mkt/ent/amps/gcnd_wp.htm
12. Gigabit Ethernet MANs: Where the real action is, 10/04/99,
<http://www.nwfusion.com/archive/1999b/1004petrosky.html>
13. Gigabit Ethernet ventures into the land beyond the LAN, 05/10/99,
http://www.nwfusion.com/archive/1999/65004_05-10-1999.html
14. Gigabit Networking Gigabit Ethernet Solutions,
http://www.cisco.com/warp/public/cc/cisco/mkt/switch/gig/tech/gesol_wp.htm
15. Service Provider - Optical Internetworking,
http://www.cisco.com/warp/public/779/servpro/solutions/optical/opt_rings.html
16. Technology White Papers - The Glass Story, <http://www.occfiber.com/wpglass.html>
17. Tolly Switch Central - Gigabit Ethernet goes Metropolitan,
http://switchcentral.tolly.com/tolly_articles/articles/res_926260166_906.html
18. Transition Networks Fiber White Paper, http://www.transition.com/products/fiber_wp.html
19. Transporting Gigabit Ethernet and Fiber Channel over the MAN,
<http://www.csdmag.com/main/2000/02/0002feat2.htm>
20. Web ProForum Tutorial: SONET, <http://www.webproforum.com/sonet/>
21. Wide Area and Long Haul Gigabit Ethernet,
<http://www.canet3.net/papers/wideandlonggigabit.html>