

## **ТЕМА 13: Разпределен влакнест интерфейс за данни (FDDI). Действие на протокола за достъп. Принципи на Ethernet. Gigabit Ethernet (GbE). ESCON и Inter-System Coupling. OptiConnect. Синхронна оптична мрежа (SONET) и SDH. Пръстени SONET. Асинхронен режим на предаване (ATM).**

---

Във влакнестите технологии връзките обикновено са много по-бързи, отколкото е нуждата в настоящия момент. Така част от допълнителния капацитет се ползва (по избор) за подобряване на процента на грешките, а не за увеличаване на скоростта на пренасяне на данните.

Високоскоростните комуникационни линии просто “пакетират” битовете по-близо един до друг по линията. Но битовете все пак се разпространяват с една и съща скорост. Времето, което е необходимо на един бит да премине от единия до другия край на системата е същото, каквото винаги е било!

За да можем в действителност да осигурим висока пропускливост на мрежата до крайния потребител, трябва да се изнамерят нови архитектури на мрежи. Тези нови комуникационни технологии се базират на нова система от правила:

1. Възстановяването на линията от грешки по традиционния начин трябва да отпадне. За високоскоростни комуникации на голямо разстояние (напр. между Ню Йорк и Лос Анжелис) е съвсем възможно да имаме във всеки един момент повече от мегабайт данни “в полет” (“in flight”). Протоколът за възстановяване от грешки в такава линия с «прозорци» би изисквал много големи буфери на всеки край на системата и би бил много неефективен в действието си.

2. Контролът на потока и на задръстването в мрежите е все още абсолютно необходим.

3. Понеже сега честотната лента е много евтина, бихме могли да си позволим да ползваме част от нея за административни цели.

4. Скоростите на линиите сега са толкова бързи, че превключването на данните в транзитни възли по програмен път не може да е ефективно. Наличните компютри просто не са достатъчно бързи. Така функциите на превключване трябва да бъдат изпълнявани на хардуерно логическо ниво. Това означава, че конструирането на протоколите трябва да е такова, че да позволява много прост процес на превключване на бъде реализиран в хардуерна логика.

5. Все още искаме да намалим стойността на превключващия хардуер. Протоколите трябва да са конструирани така, че да дават възможност да се обработват данните на символи, байтове или думи, а не на ниво единични битове. По този начин, когато данните бъдат получени (с бърза и скъпа логика), те могат да бъдат преобразувани в паралелен вид и по-нататъшната им обработка може да стане в по-бавна (и по-евтина) технология.

6. Също и на високите нива на протокола, мрежовият протокол трябва да бъде опростен и конструиран така, че обработката да може да става на групи от битове, паралелно, а не на ниво единични битове. Детектиране и коригиране на грешките (което все още е критично важно) трябва да става от единия до другия край (между крайните потребители), а не етап по етап и в рамките на цялата комуникационна система.

### **Разпределен влакнест интерфейс за данни Fibre Distributed Data Interface (FDDI)**

Разпределеният влакнест интерфейс за данни (FDDI) е разработен от American National Standards Institute (ANSI). Първоначално е предложен като стандарт за влакнесто-оптични входно-изходни канали на компютри, но стана обобщен стандарт за действие на локални мрежи (Local Area Networks, LAN) при скорости от 100 мегабита за секунда. По ирония, разпределеният влакнест

интерфейс за данни (FDDI) може да работи много добре и по медни проводници и, реално, днес повечето инсталирани такива системи ползват медни кабели, а не оптични влакна.

**Оптична локална мрежа (Optical LAN) при 100 Mbps - FDDI** първоначално е предвиден за действие по оптични влакна, но намери по-голям прием в системи със стандартни медни влакна (екранирани усукани двойки; shielded twisted pair).

**Двойни пръстени с жетон (Dual Token Rings)** – Всъщност това са два пръстена с жетон, работещи в противоположни посоки. Първичният пръстен носи данните. Вторичният пръстен се ползва да “обгърне” първичния, ако той се окаже разкъсан. В нормални условия вторичният пръстен не се ползва за пренасяне на данни.

**Характеристики на пръстена** – Ползвайки многомодово оптично влакно, един сегмент от разпределения влакнест интерфейс за данни може да е с дължина до 200 km и да свързва максимално до 500 станции, разположени на разстояние най-много 2 километра една от друга.

**Превключване на “рамки” (пакети) (Frame (Packet) Switching)** – Както и много други видове локални мрежи (Token-ring, Ethernet...) пренасянето на данните става на “рамки” или пакети. В разпределения влакнест интерфейс максималният размер на рамката е 4500 байта. Всяка рамка си има “глава”, която съдържа физическият адрес на станцията-приемник от разпределения влакнест интерфейс.

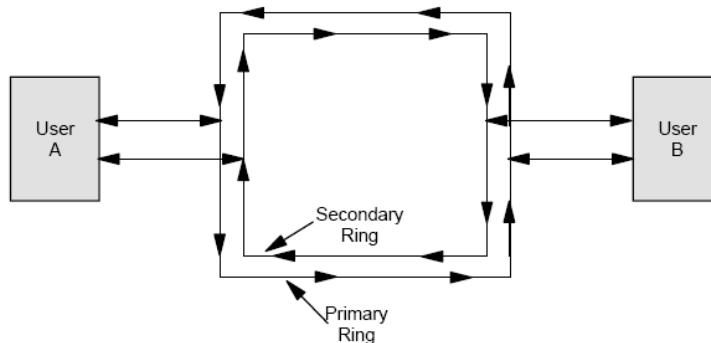
**Гарантирано наличие на честотна лента (Guaranteed Bandwidth Availability)** – Допълнително към характеристиката “равноправен достъп” на пръстена с жетон, разпределеният влакнест интерфейс (FDDI) предлага форма на “гарантирана” наличност на честотна лента за “синхронен” трафик.

**Протокол за жетон в пръстен (Token-Ring Protocol)** – Протоколът на пръстена е концептуално подобен на протокола на локалната мрежа с жетон в пръстена (IEEE 802.5), но се различава значително в детайлите. Протоколът на разпределения влакнест интерфейс зависи от таймери, докато протоколът за “жетон в пръстена” се задейства от конкретно събитие.

**Станции по пръстена (Ring Stations)** – В разпределения влакнест интерфейс (FDDI) станциите могат да се свързват и с двата пръстена или само към първичния пръстен. Могат да са най-много 500, свързани към един сегмент от пръстена.

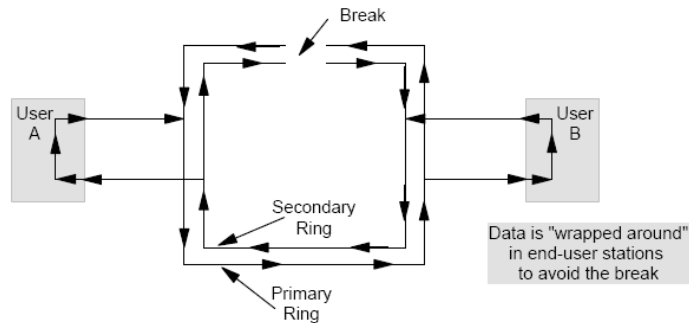
## Структура

Следващата фигура показва основната структура на локална мрежа от тип **разпределен влакнест интерфейс за данни (Fibre Distributed Data Interface Local Area Network; FDDI LAN)**. Състои се от два пръстена с противоположно въртене, като данните се пренасят в първичния пръстен.



Разпределен влакнест интерфейс за данни – основна структура.

Ако стане прекъсване на пръстена, станциите могат да “завият” пръстена през себе си. Това е показано на следващата фигура. Вторичният пръстен се ползва да заобиколи прекъсването на първичния пръстен чрез завиване в обратна посока на посоката на предаване на данните.

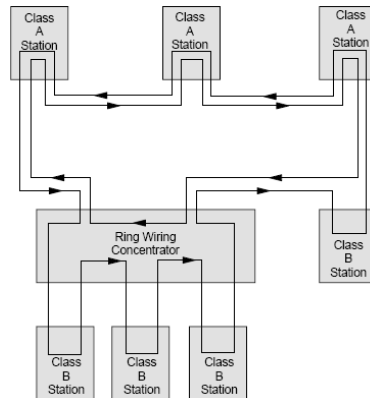


Разпределен влакнест интерфейс за данни – «излекуване».

Има два класа от станции:

**Станции от клас А (Class A Stations)** се свързват както с първичния, така и с вторичния пръстен и могат да “завиват” пръстена, за да заобикалят зоните, внасящи грешки. Понякога се наричат станции с двойно присъединяване (Dual Attachment Stations; DAS).

**Станции от клас В (Class B Stations)** се свързват само с първичния пръстен. Това се прави за по-ниски разходи (по-малко функции) при присъединяването. Наричат се станции с единично присъединяване (Single Attachment Stations (SAS)).



Конфигурация на разпределен влакнест интерфейс за данни.

Горната фигура показва станции от класове А и В, свързани към разпределен влакнест интерфейс за данни. Допълнително, съществува концентратор на окабеляването на пръстена (Ring Wiring Concentrator; RWC), който позволява присъединяването на няколко станции от клас В в конфигурация “звезда”.

Някои потребители избират да свържат няколко станции с единично присъединяване (Single Attachment Stations; SAS) към вторичния пръстен. Това позволява вторичният пръстен също да бъде ползван за пренасяне на данни и, разбира се, дава по-голяма сумарна пропускливост. Но, докато не се получи “мост” между първичния и вторичния пръстен, станция с единично присъединяване от първичния пръстен не може да комуникира със станция с единично присъединяване от вторичния пръстен.

## Действие на протокола за достъп (Access Protocol Operation)

**Пръстеновидният достъп в един разпределен влакнест интерфейс за данни (FDDI) се контролира от специална “рамка” наричана “жетон”.** Във всеки един момент от времето, в пръстена може да има само един “жетон”. По принцип, когато станция получи жетон, тя има разрешение да предава (да пусне “рамка” с данни по пръстена). Когато престане да предава, тя трябва да върне жетона в пръстена.

Разпределеният влакнест интерфейс за данни FDDI е малко по-сложен, отколкото описаното по-горе, поради необходимостта да обработва синхронен трафик. Има три таймера, които се съхраняват във всяка станция по пръстена:

**Таймер за завъртане на жетона (Token Rotation Timer; TRT)** – Това всъщност е изминалото време, откакто за последен път станцията е получавала жетон.

**Целеви таймер за завъртане на жетона (Target Token Rotation Timer; TTRT)** – Това е договорената стойност, която е цел да бъде максималното време между две възможности за изпращане на жетон, както го вижда отделната станция. TTRT има стойност между 4 милисекунди и 165 милисекунди. В много ситуации препоръчаната оптимална стойност е 8 милисекунди.

**Таймер за задържане на жетона (Token Holding Timer; THТ)** – Това е максималното количество данни, които една станция може да изпрати, когато получи жетон. Буквално това е максималното време, определено на станцията за изпращане на данни при всяко завъртане на жетона.

Изпращащата станция трябва да наблюдава входната си страна за «рамки», които се предават, и да ги отстранява. Приемащата станция само копира данните от пръстена. Премахването от данните по пръстена е отговорност на изпращача.

Когато станцията завърши предаването, тя пуска нов жетон в пръстена. Това се нарича «ранно освобождаване на жетона» (“early token release”). Така по едно и също време може да има само една станция, която предава по пръстена.

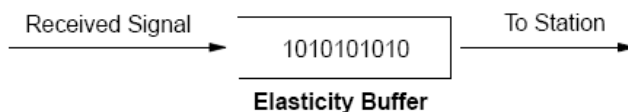
#### **В заключение:**

- През цялото време в пръстена обикаля жетон.
- Всяка станция, получила жетон, има разрешение да предава синхронни “рамки”.
- Ако в рамките на едно завъртане остане време, станцията може да изпрати толкова данни, колкото иска, докато се достигне целевото време за завъртане на жетона (target token rotation time).
- След предаване всяка станция подава по пръстена нов жетон.
- В зависимост от латентността на пръстена в едно и също време по пръстена може да се движат много “рамки” с данни, но може да има само един жетон.
- Изпращащата станция има отговорността да премахне от пръстена предадените от нея “рамки”, когато те се върнат до нея.

### **Синхронизиране на пръстена (Ring Synchronisation)**

През по-голямата част от времето станцията просто пропуска данни по пръстена. Необходимо е всяка станция да пропуска данните с минимално закъснение. Това означава, че трябва да започнем да предаваме блок с данни към следващата станция, преди той да е бил напълно приет. Приеманият сигнал пристига със скоростта на предавателя по линията. Когато данните се предават по-нататък към следващата станция по пръстена, те се пращат със скоростта на локалния осцилатор на самата станция. Така данните се получават с различна скорост от скоростта, с която се изпращат!

Несъответствието се отстранява чрез поставяне на “еластичен буфер” между приемника и входния порт на станцията по кръга. След това станцията ползва честотата на локалния си осцилатор.



Действие на десетбитов еластичен буфер.

Спецификацията на разпределения влакнест интерфейс за данни FDDI позволява скоростта на получаваните данни да се различава от тази на предаваните данни най-много с 0.01%.

### Кодиране на данните (Data Encoding)

За целите на транспорта на данните по пръстена, всяка група от 4 бита данни се кодира като група от 5 бита. Преди изпращането, потокът от битове, получен в резултат на това кодиране, се преобразува в кодиране “без връщане до нулата, инвертиран” (“Non-Return to Zero Inverted”; NRZI). Това добавя в данните повече преходи (0-1 и 1-0), за да подпомогне възстановяването на тайминга в приемника. При кодиране NRZI бит “1” дава промяна на състоянието, а бит “0” – не.

Последователността “свободно” (B'11111') води до сигнал “010101», с което се запазва синхронизацията на приемника.

Table 5 (Page 1 of 2). FDDI Code Translation Table

Data Encoding	Meaning	Symbol	Line Code
0000	Data	0	11110
0001	Data	1	01001
0010	Data	2	10100
0011	Data	3	10101
0100	Data	4	01010
0101	Data	5	01011
0110	Data	6	01110
0111	Data	7	01111
1000	Data	8	10010
1001	Data	9	10011
1010	Data	A	10110
1011	Data	B	10111
1100	Data	C	11010
1101	Data	D	11011
	Quiet	Q	00000
	Idle	I	11111
	Halt	H	00100
	Start Del (1)	J	11000

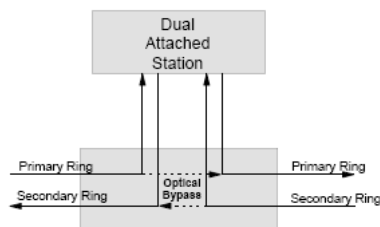
Table 5 (Page 2 of 2). FDDI Code Translation Table

Data Encoding	Meaning	Symbol	Line Code
	Start Del (2)	K	10001
	Ending Del	T	01101
	Reset	R	00111
	Set	Q	11001
	Code Violation	"V"	Other

### Спецификация на средата (Media Specifications)

Разпределеният влакнест интерфейс за данни (Fibre Distributed Data Interface, FDDI) е специфициран да ползва или одномодови, или многомодови влакна, на дължина на вълната 1300 nm. Стандартната спецификация на многомодовите влакна е 62.5/125, но спецификациите 50/125, 85/125 и 100/140 са възможни алтернативи. Диаметърът на мода на одномодовото влакно е 9 микрометра. Това показва, че като източници се ползват по-скоро полупроводникови светодиоди, отколкото лазери, а детекторите са по-скоро PIN-диоди, отколкото лавинни фотодиоди.

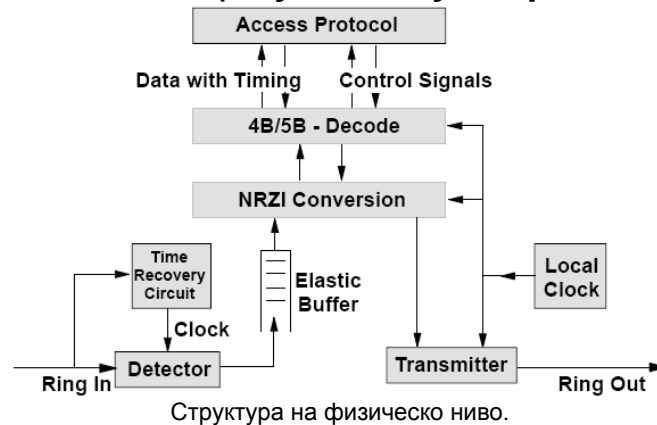
### Оптичен ключ за заобикаляне (Optical Bypass Switch)



Оптичен ключ за заобикаляне.

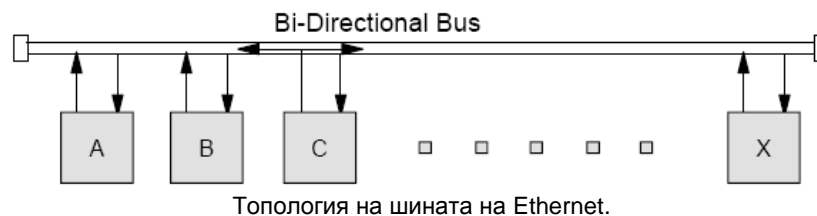
За да се запази връзката в пръстен, изграден на базата на разпределен влакнест интерфейс при изключване на захранването или когато възел се повреди, може да се ползва оптичен ключ за заобикаляне. Той може или да е вграден в станцията, или да е отделно устройство. Тези ключове са механични устройства. (Превключването е механично, но операцията може да е електрична). Обикновено се строят на базата на подвижно огледало. Механичните операции неизменно страдат от известна липса на прецизност, така че тези ключове въвеждат допълнителни загуби в пръстена дори и когато станцията работи правилно. Този фактор допълнително ограничава възможните разстояния между възлите.

## Действие на физическо ниво (Physical Layer Operation)



Горната фигура сумира действието на физическо ниво на разпределен влакнест интерфейс за данни (FDDI).

## Ethernet (IEEE 802.3)



Основната топология на мрежата Ethernet е показана на горната фигура. Много устройства на крайни потребители са включени към обща шина, ползвайки един и същи протокол за предаване на данни и една и съща честотна лента. Когато една станция предава, всички станции получават данните и проверяват дали данните са адресирани за тях. Ако не са, рамката с данни се отхвърля. Ако две станции предават едновременно, се получава “отпадък”. Вижда се, че основният проблем тук е във въпроса как да се дава достъп до шината (т.е. как да се дава разрешение за предаване). Протоколът, ползван да се контролира достъпа до средата за предаване, се нарича “Протокол за контрол на достъпа до средата” (“Media Access Control (MAC)” protocol).

## Принципи на Ethernet

Основният принцип на Ethernet се нарича “Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)”.

Ползвайки тази техника, преди устройство да може да предаде данни по локалната мрежа, то трябва да “слуша” и да установи дали друго устройство не предава. Ако друго устройство вече предава, то устройството трябва да изчака, докато локалната мрежа (LAN) се освободи. Дори и така, винаги има интервал от време, през който две устройства могат да започнат да предават по едно и също време, без да го знаят. В този случай се получава сблъсък и никое от предаванията няма да бъде прието правилно. При “Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)” устройствата “слушат” шината, за да установят евентуални сблъсъци. Когато се получи сблъсък, устройствата трябва да чакат различно дълги интервали от време, преди да се опитат отново да предават. Не винаги е сигурно, че данните ще преминат без грешка или че изпращащата станция ще знае за евентуалните загубени данни. Следователно, всеки потребител на локалната мрежа трябва да ползва от край до край протокол за възстановяване от грешки и за пълнота на данните.

Във всички локални мрежи от тип CSMA (“Carrier Sense Multiple Access”) има промеждутък във времето между моментите, в които едно устройство започне да предава и преди друг потенциален изпращач да установи това. Колкото по-дълъг е този интервал от време, толкова по-голяма е вероятността друг изпращач да се опита да изпрати данни и, следователно, е по-висока вероятността за сблъсък. Главното определящо условие за дължината на този интервал от време е физическата дължина на локалната мрежа. Тъй като не можем лесно да променяме условията за изтичане на интервали от време (timeout conditions), практическата ефективност на този вид локална мрежа е ограничен от максималната допустима физическа дължина на LAN, а не от истинската ѝ дължина в конкретната ситуация. Оползотворяването на средата за пренос на информация (обикновено – шина) е ограничено повече от вероятността за сблъсък, отколкото от размера на блоковете от данни. В някои ситуации за доста добро използване на шината се считат стойност от 10%.

**Голямото предимство** на техниката CSMA е в цената:

- Хардуерните адаптери са много прости и евтини.
- Типичните ползвани кабели са евтини телефонни кабели от тип “усукана двойка” или коаксиални кабели за кабелна телевизия.
- В ранните дни на развитие, Ethernet обикновено е работил по истински мрежи от тип шина за данни, които са ползвали по-малко линейна и повече кръгова топология и топология “звезда”. Но реалните мрежи, базирани на шина за данни, са много трудни за управление и всички днешни мрежи Ethernet се окабеляват в схема “звезда” от networks are star-wired from хъбове (центрове, hubs).

### **Формат на рамките**

Всяка предавана рамка се предшества от 8 битов “увод”, ползван за синхронизиране и са отделяне на началото на рамката. Следва заглавна част, включваща адреса на местоназначението (на получателя) (6 байта), адреса на източника (6 байта) и 2 байта за дължината на полето. Данните на потребителя могат да варират от 46 до 1500 байта. Ако рамката е по-къса от 46 байта, тя трябва да бъде уплътнена до този размер. Цялата тази структура се следва от 2 байта CRC (**cyclic redundancy check**; двоична последователност с фиксирана дължина, която се пресмята за блок от данни и се запазва заедно с него. По-късно, при приемането им, отново се смята CRC и ако новото е различно, се установява, че в данните има грешка. Тогава приемащата страна може да поиска повторно изпращане на данните.) Така една рамка по локалната мрежа може да е от 70 байта до 1524 байта.

### **Протокол**

Протоколът CSMA/CD е извънредно прост:

--- Когато станция има данни за изпращане, тя «слуша» шината, за да установи дали някоя друга станция не предава.

--- Ако никоя друга станция не предава, станцията започва незабавно собственото си предаване на данни.

--- Ако друга станция предава (т.е. шината е заета), станцията трябва да чака, докато шината се освободи.

--- Щом шината се освободи, станцията може да започне собственото си предаване.

--- Поради това, че има закъснение във времето, докато електричеството се разпространи по шината, две станции могат едновременно да започнат да предават. Ако това се случи, става сблъскване и данните с е губят.

--- За да се възстанови от загубата на данни вследствие на сблъска, изпращащата станция трябва да «слуша» шината, докато изпраща набби, за да следи за сблъск.

--- При установяване на сблъск изпращащата станция изпраща към «заглушаващ» сигнал (за да подобри шанса и другата предаваща станция да установи сблъска) и незабавно прекратява предаването си.

--- Всяка станция, която е била замесена в сблъска, сега изчаква период от време със случайна дължина, преди да се опита отново да предава.

## Ethernet по оптично влакно

Дори и повърхностният поглед върху протокола Ethernet показва, че не е лесно всичко да се прехвърли единствено по влакна. Проблемът е в това, че не можем да конструираме мрежа с оптична шина по начина, по който можем да го направим по медни проводници. Когато Ethernet работи по оптични влакна, влакната заместват, от точка до точка, медните проводници. Базовият Ethernet работи със скорост от 10 Mbps, кодирани като 20 Mbaud (2 бода на всеки бит), ползвайки кодиране «Манчестър» (Manchester encoding).

**Кодирането «Манчестър» е много важно, понеже то е основата за установяване на сблъсъци. Кодът «Манчестър» е балансиран код.** Когато два сигнала се сблъскат, се получава «изпълнение» на логическа функция «ИЛИ», а не се сумират аритметично. Операцията «ИЛИ» върху два балансирани сигнала вече не е балансиран сигнал. **Дисбалансът в сигнала дава флукуации на постоянния ток по жицата, които се детектират от крайните станции и се интерпретират като сблъск.**

## Действие на «Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD)»

Приетата формула за абсолютния максимум на пропускливостта по локална мрежа с CSMA/CD е :

$$MaximumUtilization = \frac{1}{1 + 6.44\rho},$$

където

$$\rho = \frac{end - to - end \quad delay}{transmission \quad time}.$$

(Тази формула не е съвършено прецизна във всички ситуации, понеже тя почива на предположението за статистическо разпределение на станциите, искащи да предават. Тя представя най-песимистичния случай.)

Прилагайки формулата към обикновена локална мрежа 802.3 със скорост 10 Mbps, при дължина на блока от 1000 бита (100 ms време за предаване) и локална мрежа с дължина 2 km (закъснение от 10.4 ms), получаваме максимално натоварване от 58%. При 100 Mbps максималното натоварване на мрежата (съгласно формулата) е 13%. Важно е да се схване, че тези проценти представляват един вид 100% натоварване. За да се получи такова натоварване, прикачените станции трябва да формират безкрайно дълга опашка (и да имаме безкрайно дълго закъснение при достъпа). Така, ако се пресмятат закъсненията на опашката, това “максимално натоварване” трябва да разглеждаме като реалната пропускливост на средата

### Защо Ethernet работи толкова добре?

От горното обсъждане изглежда ясно, че CSMA-CD оставя още много да се желае по отношение на достъпа до локалната мрежа. В зависимост от характеристиките на трафика съществува максимална пропускливост, която е между 15% и 40% от скоростта в средата. Закъснението при достъпа (времето, необходимо на работната станция да получи достъп до локалната мрежа) и случайно и непредсказуемо. Но Ethernet работи. Оборудването за Ethernet формира около 80% от цялата стойност на локалната мрежа и в доминиращият брой случаи работи наистина много добре. **Въпросът е “защо”?**

Следващата фигура показва какво се случва, когато на Ethernet се “подава” все по-голям и по-голям товар. Под “подава” тук имаме предвид, че станция по локалната мрежа има данни и се опитва да ги изпрати. Забележете, че когато товарът стане прекалено висок за локалната мрежа, вместо данните да продължат да се транспортират с някаква максимална пропускливост, локалната мрежа колабира и не се предава съвсем нищо! Тогава защо работи толкова добре?



Зависимост между предоставения товар и пропускливостта по Ethernet. Когато “предоставеният товар” нараства, нараства и пропускането (мрежата се справя с товара), но само докато се стигне до точката, в която твърде много станции се опитват да изпращат данни. В тази точка мрежата колабира и повече никакъв трафик не преминава.

На този въпрос има много отговори:

--- истинският проблем е в това, че предположенията, на които е основана горната фигура, са грешни. Тези предположения са следните:

1. Към локалната мрежа са свързани голям брой работни станции.
2. За работните станции необходимостта от трафик е “случайна”.
3. Трафикът е “от който и да е” до “който и да е”.

Факт е, че много малко локални мрежи, ако има въобще такива, показват горните характеристики.

--- Трафикът почти никога не е “от който и да е” до “който и да е”. Трафикът почти винаги е от клиент към сървер и от сървер към клиент. В типична локална мрежа със 100 работни станции ще има, може би, пет сървера (например 2 сървера за данни, 2 сървера за печат (print servers) и един сървер за широкообхватна мрежа (WAN gateway server)).

--- А може би един отговор е, че тази система въобще не работи толкова добре! През последните години локалните мрежи станаха по-големи, работните станции – по-бързи, така че

пропускливостта става все повече и повече значителен проблем. Големите потребители непрекъснато се сблъскват със сегментиране на техните локални мрежи и със свързване на сегментите чрез мостове или рутери, за да се заобиколят тежките проблеми на претоварване.

Все пак повечето практически използвани локални мрежи се състоят от може би 5 персонални компютъра, споделящи си принтер или от стотина персонални компютъра, споделящи си един файлов сървер. В бежи случаи Ethernet е евтин, прост и наистина работи много добре.

## **Гигабитов Ethernet (Gigabit Ethernet (GbE))**

Гигабитовият Ethernet може да стане крайъгълен камък в историята на локалните мрежови комуникации. Изглежда, че той ще е съвсем първата мрежова система, в която стойността на изпълнението на оптичната среда ще е по-малка от стойността на електрическата среда! Както подсказва името, гигабитовият Ethernet е конструиран, за да мащабира отново нагоре Ethernet по скорост с един порядък. Скоростта на пренасяне на данните е 1 Gbps за реалните данни (което означава 1.25 Gbaud след кодиране). Това включва няколко съвсем реални технически предизвикателства!

## **Превключватели или споделени среди (Switches versus Shared Media)**

Ако средата за разпространение е споделена, последствието от това е, че всеки краен потребител получава (средно)  $1/n$ -та част от капацитета на мрежата, където  $n$  е броят на свързаните потребители. Но всеки краен потребител трябва да плати цената на адаптора за включване към локалната мрежа, който да работи с пълната скорост на LAN-а! До определена скорост това няма значение, но когато отидете до много високи скорости (каквото и да значи сега «много високи»), имате проблем. Всеки краен потребител получава само ниска пропускливост от LAN, но всички трябва да платят за много бърз адаптор. Ако се погледне общата сметка, цената е доста висока.

Алтернативата е следната: Има компромис между стойността на превключвателя и допълнителните разходи за адаптера за крайния потребител. Оказва се, че за локални мрежи с голяма пропускливост се получава по-висока пропускливост за всеки краен потребител и по-ниска цена за всеки потребител като се ползват превключватели, а не споделена среда! Допълнително, ползването на превключватели позволява мрежата да ползва различни скорости за различните крайни потребители. Например:

--- Персоналните компютри, които работят с текстови приложения, могат да бъдат свързани с превключвател по споделен сегмент при 10 Mbps.

--- Техническите работни станции могат да се свържат пряко с превключвател със скорост от 10 or 100 Mbps.

--- Сърверите с по-висши функции могат да се свържат при 1 Gbps направо с превключвателя.

--- Превключвателите могат да се свържат един с друг или при 100 Mbps, или при 1 Gbps.

В този пример всички тези връзки могат да са в един и същи превключвател, оптимизирайки пропускливостта и цената на системата.

## **Среда на гигабитовия Ethernet (Gigabit Ethernet Media)**

**Неекранирана усукана двойка Клас 3 (Unshielded Twisted Pair Class-3; UTP-3)** – Понастоящем няма предложение да се ползва UTP-3 за гигабитов Етернет, защото се очаква, че той ще е извън възможностите на тази среда.

**Неекранирана усукана двойка Клас 5 (Unshielded Twisted Pair Class-5; UTP-5)** – Това е висококачествен балансиран кабел. Понастоящем има твърдо установен протокол. Общо казано, ползват се всичките 4 двойки проводници на кабела, за да може всеки да пренася по 250 Mbps двупосочно.

**Екранирана усукана двойка (Shielded Twisted Pair; STP)** – Гигабайтовият Етернет ще работи добре по STP на разстояния до около 500 метра.

**Едномодово влакно (Single-Mode Fibre)** – Тук няма проблеми. Гигабайтовият Етернет ще работи наистина много добре по едномодови влакна за толкова дълги разстояния, колкото искаме.

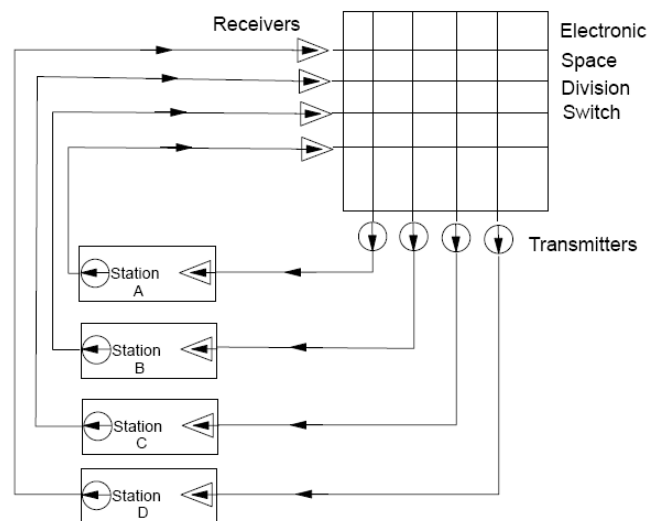
**Многомодови влакна (Multimode Fibre)** – Тук има противоречие, както и истински проблем. Общоприето е, че многомодови влакна ще се ползват на разстояния до около 2 km. Много потребители вече имат инсталирани такива кабели. Някои хора вярват, че многомодовите влакна няма да работят надеждно на разстояния, по-дълги от 250 метра.

### ESCON и Inter-System Coupling (ISC)

Архитектурата на IBM **Enterprise Systems Connection (ESCON)** е конструирана за свързване на “mainframe computers” (големи компютри на големи организации, ползвани за критично важни приложения), за свързване на техните входно-изходни контролери в условията на разпределена система. Оптимизирана е за тази цел и не е предназначена за общо ползване нито в локални, нито в широкообхватни мрежи. Все пак системата е много напредничава, високоскоростна, с превключване на веригите и е полезен пример за това какво може да се постигне с техниката на превключване на веригите.

С ESCON потребителите могат да конструират разпределен компютър и периферна конфигурация, простиращи се на голямо разстояние (няколко километра). Оптичните връзки са много полезни в такова обкръжение поради високата им защитеност, нисък дял на грешките, висока скорост и, най-важното, електричната изолация. Един от главните проблеми в окабеляването на компютрите е заземяването.

Краткото обсъждане тук разглежда ESCON като локална комуникационна архитектура. Това е само един малък аспект от широката система ESCON.



Принцип на “директора” на ESCON (превключвател на веригите). Влакнестооптичните връзки се ползват, за да свържат станциите с електронния ключ за разпределяне на пространството.

Принципът на превключване на “директора” на IBM ESCON е показан на горната фигура. Концептуално, “директорът” е обичайна кръстосана (с разделяне в пространството) система за

превключване. Връзките с медни кабели от станциите (контролни единици или процесори) са заменени с оптични влакна, но **самият превключвател е електронен**. Станциите, контролери или процесори, се свързват с “директора” на ESCON по оптични влакна. “Директорът” е много бърз превключвател на вериги.

Действието е много просто (по принцип):

1. Когато станция не е свързана към нищо, “директорът” следи за някакъв входен сигнал.
2. Когато станция иска да комуникира с друга станция, тя изпраща заявка до „директора”.
3. “Директорът” получава заявката за връзка и ако заявеният адресант не е зает, прави превключване на връзката и пропуска заявката за връзка към станцията-получател.
4. От тук нататък “директорът” не участва в комуникацията. Данните се предават свободно между свързаните станции (в синхронен режим) докато едната станция не изпрати заявка за изключване (DISCONNECT request).
5. Когато „директорът” регистрира заявка „ПРЕКЪСНИ (DISCONNECT)”, изпраща сигнал до станцията-партньор и прекъсва връзката.

Причината ESCON да работи толкова добре е архитектурата на самия “директор”. “Директорът” **нарежда на “опашка” заявките са свързване и за изключване и може да ги обработва с максимална скорост на всеки 200 ns** (т.е. 5 милиона пъти в секунда). Времето, необходимо да се направи връзката, зависи от товара (броя на заявките), от броя на активните станции и т.н., но в повечето ситуации е между 2 и 3 ms (плюс закъснението за разпространение на сигнала). Може да се постигне стабилно действие при скорост от около един-два милиона връзки (създаване и разкъсване) за секунда.

По-надолу следват спецификациите на влакната, необходими за едномодово действие на системата IBM ESCON:

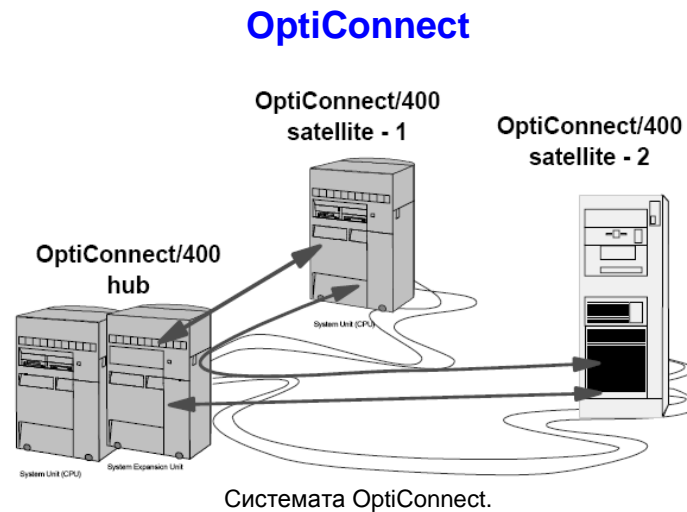
Дължина на вълната	1270-1340 nm
Диаметър на мода	9±1 μm
Затихване на сигнала на 1310 nm	0.5 dB/km
Дължина на вълната на отсечка	1280 nm
Дължина на вълната на нулева дисперсия	1310±10 nm
Наклон на дисперсията (max)	0.095 ps/(nm <sup>2</sup> -km)
Диаметър на обвивката	125±3 μm
Грешка в концентричността на сърцевината	.0 μm
Отклонение от кръглостта на обвивката (max)	2.0 %

## **Възможност за свързване между системи Inter-System Coupling (ISC) Feature**

Възможността за свързване между системи се ползва, за да се свържат заедно “mainframe computers” на IBM. Това не входно-изходен протокол. **Това е протокол за свързване “процесор-към-процесор” за целите на съвместно действие.** В процесорите предаването на информация се инициира от инструкции на процесора, а не от входно-изходни операции.

Връзката винаги е по специално отредена линия “от точка до точка”, с максимално разстояние до 20 km. Максималното разстояние не е резултат от някакви оптични съображения, а се определя от закъснението при разпространение на сигнала.

Връзките са по двойка едномодови влакна (по едно за всяка посока). Влакнестият канал е специфициран за 1,062.5 Mbaud и се ползва с полупроводникови лазери по едномодово влакно, на 1310 нанометра. **Inter-System Coupling (ISC)** не е съвместима с влакнестия канал (**fibre channel**).



**OptiConnect е собствена технология на IBM, ползвана за свързване на компютрите от среден клас IBM AS/400 и за свързване на тези системи с периферни устройства.** Базирана е на полупроводникови лазери от типа на ползваните в “CD-ROM”, излъчващи на дължина на вълната 780 nm, и на многомодови влакна. Тя е една от първите системи, ползващи технологията на късовълновите полупроводникови лазери.

OptiConnect работи между системи, споделящи си една шина (свързана с влакнестооптични кабели).

OptiConnect е комбинация от хардуер и софтуер, която позволява разпределяне на работата между много компютри AS/400s, с което се постига увеличаване на капацитета за обработване на данни.

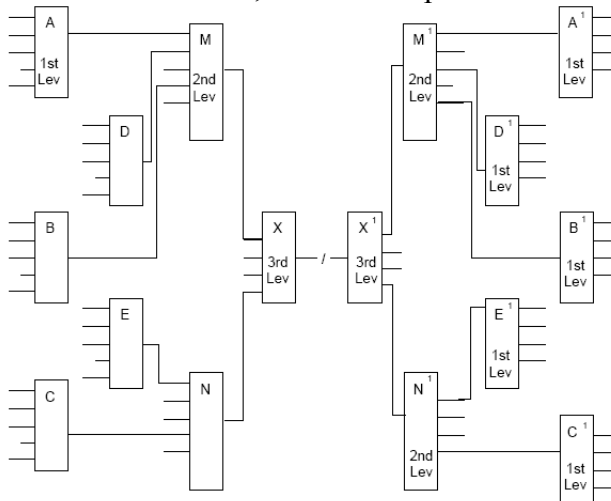
В идеалния случай, приложенията и потребителите могат да бъдат регистрирани в системата с данните, които ползват най-интензивно. По-малкоинтензивно ползваните данни могат да стоят на някоя от другите системи. Това позволява приложенията да бъдат разпределени, за да се получи най-добър баланс и най-добра пропускливост. Дублирането на бази с данни може да се елиминира, ако с него се цели намаляване на времето за отклика. OptiConnect позволява да разпределите комуникационните линии по много системи. Приложения, ползващи комуникационните линии, могат да се изпълняват на всяка система и могат да имат достъп до всяка база с данни на всяка система, която е присъединена към OptiConnect.

## **Синхронни оптични мрежи (SONET) и SD Synchronous Optical Network (SONET) and SDH**

Синхронната оптична мрежа Sonet (Synchronous Optical Network) е американски **стандарт за вътрешна работа на оптични мрежи на телефонни компании**. Тя е тясно свързана със системата, наричана “Синхронна цифрова йерархия” (SDH; Synchronous Digital Hierarchy), приета за вътрешни операции в оптичните мрежи на преносителите (пощи, телефони, телеграфи) по целия свят.

Sonet и SDH имат вградени в протоколите си обширни средства за мениджмънт и контрол, за да се справят с широкообхватни кабелни инсталации.

Традиционно, мрежите на обществените телефонни компании са били построени с използване на каскада от мултиплексори на всеки край на високоскоростната линия. Във физическа реализация това може да се опише, както е направено на следната фигура.



Йерархия на мултиплексирането. Всеки илюстриран мултиплексор съществува като отделно физическо устройство, въпреки че много мултиплексори могат да бъдат монтирани заедно, в обща касета.

За да се ползва високоскоростна линия за обмен на данни, необходимо е, на етапи, в нея да се мултиплексират много голям брой по-бавни вериги. Колкото по-бърза е линията, толкова повече етапи са необходими.

Тук трябва да се отбележат няколко важни факта:

**1. Всяка двойка от мултиплексори в системата трябва да е произведена от същия доставчик.** На фигурата е показана концепцията за двойките от мултиплексори. Двойка мултиплексори “вижда” свободен канал за връзка помежду им, въпреки че , в действителност, връзката може да минава през поредица от мултиплексори на по-високи нива. На фигурата мултиплексорите A и A', B и B' са двойките мултиплексори.

**2. Структурата на мултиплексиране в САЩ е различна от тази, ползвана в Европа, а двете са различни от структурата, ползвана в Япония.** Това създава проблеми със съвместимостта, когато се свързват системи между държавите и също означава, че оборудването, конструирано и изградено в една държава често не може да бъде ползвано в друга.

3. Чрез интегриране на функциите на мултиплексиране с вътрешното функциониране на телефонния обмен и, следователно, чрез пълното премахване на мултиплексорите, може да бъде реализирана извънредно голяма печалба. Съвременният телефонен обмен е на базата на цифрови мултиплексори с времеделене (time-division multiplexors)

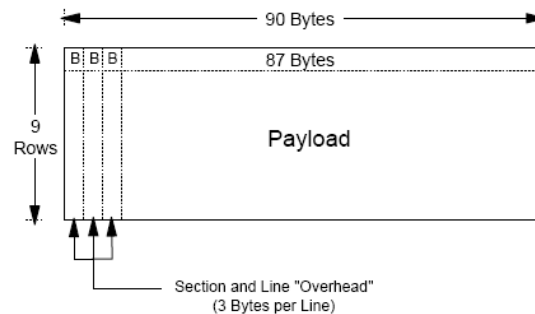
4. Ако е необходим достъп до една вторична верига (или малка група от вериги), необходимо е да се демултиплексира цялата структура и след това отново да се мултиплексира.

**Sonet и SDH премахват тези проблеми.**

Базовата структура в Sonet е рамка от 810 байта, която се изпраща на всеки 125  $\mu$ sec. Това позволява един байт от рамката да е част от а 64-kbps цифров звуков канал. Понеже минималният размер на рамката е 810 байта, **минималната скорост, с която може да работи Sonet е 51.84 мегабита за секунда:**

$$810 \text{ bytes} \times 8000 \text{ frames/sec} \times 8 \text{ (bits)} = 51.84 \text{ megabits/sec}$$

Тази основна рамка се нарича Синхронен Транспортен Сигнал от първо ниво (Synchronous Transport Signal level 1; STS-1). Рамката, всяка като показаната на фигурата, се състои от 9 реда и 90 колони.

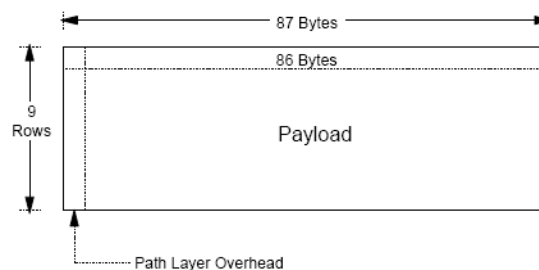


Структура на рамката на Sonet STS-1. Диаграмното представяне на рамката като квадрат е за по-лесно възприемане. Тези 810 байта се предават ред по ред, започвайки от горния ляв ъгъл на диаграмата. Една рамка се предава на всеки 125 микросекунди.

--- Първите три колони от всеки ред се ползват за администриране и контрол на системата за мултиплексиране. В стандарта се наричат “режийни” (“overhead”), но са много необходими за действието на системата.

--- Рамката се предава ред по ред, от горния ляв край към долния десен край.

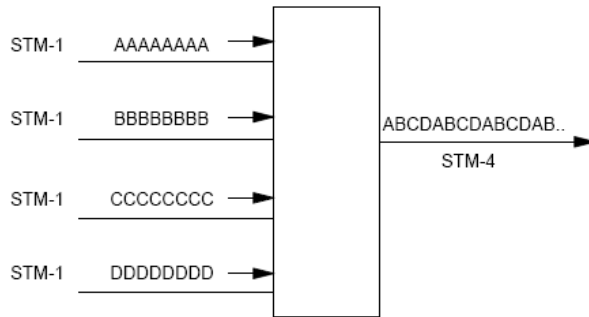
Физическата структура на рамката, показана по-горе, е подобна на тази при всяка друга ползвана в телекомуникационната индустрия структура с мултиплексиране с времеделение. Голямата разлика е как се пренася полезния товар (payload). Полезният товар е рамка, която ‘плува’ в структурата на физическата рамка. Обвивката на полезния товар е показана на следващата фигура. Забележете, че тя се помества точно в рамката на Sonet.



Обвивка на полезния товар на Sonet (Synchronous Payload Envelope; SPE).

Обвивката на полезния товар може да започне навсякъде във физическата рамка на Sonet и в този случай ще се простре в две физически рамки.

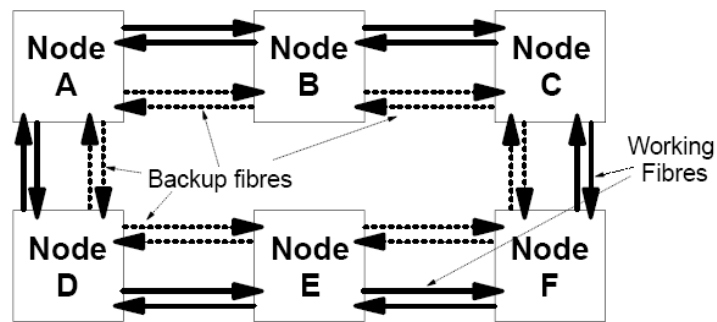
Много рамки STS-1 могат да бъдат мултиплексирани по байтове и да формират високоскоростен сигнал. Когато това е направено, тези рамки се наричат STS-2, STS-3 и така нататък, където последното число означава броят на рамките STS-1, които са налични. Например STS-3 показва, че са мултиплексирани 3 рамки STS-1 и сигналът е със скорост от **3x51.84 megabits/sec=155.52 megabits/sec**. Това мултиплексиране ползва метода, илюстриран на следващата фигура.



Синхронно мултиплексиране от STM-1 към STM-4. (STM - Synchronous Transport Signal).

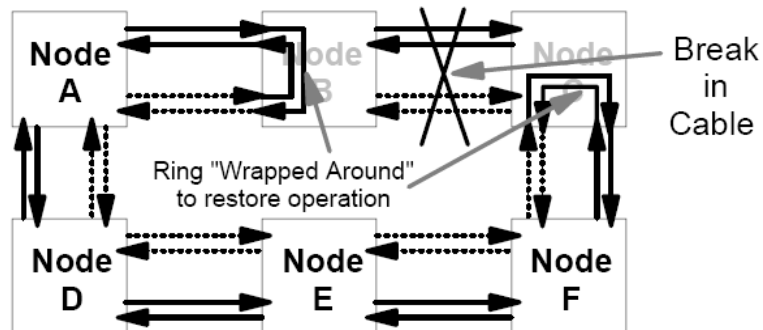
Успешното специфициране на система, която интегрира и поддържа всички различни скорости на линиите и всички характеристики на американските и европейските мултиплексиращи йерархии е било огромно предизвикателство. Sonet/SDH е сложна система, но е също и много значително постижение. Очаква се, че в много близко бъдеще оборудването, ползващо SDH, ще бъде доминиращата форма на мрежово мултиплексиращо оборудване.

### Пръстени от Sonet



Структура на пръстен от Sonet.

В широкообхватните приложения на големи разстояния мрежите Sonet могат (и обикновено се) инсталират, ползвайки традиционната структура на мрежа с възли. Но Sonet е била конструирана да работи в кръгова структура, както е показано на горната фигура. Тази структура позволява много бързо и автоматично възстановяване на услугата в случай на прекъсване на кабел. Съществуващото комерсиално-достъпно оборудване за Sonet обикновено е в състояние да възстанови услугата за около 20 ms до 40 ms след прекъсване на кабела.



Пръстен Sonet, възстановен след прекъсване на кабел.

По две причини пръстените са най-подходящи в условията на градска среда.

1. Поради това, че потребителите са разпръснати на площ с радиус от около 50 километра, така или иначе е необходимо кабели да минат през тази среда. Осигуряването на това къде да минат кабелите и къде да се разположи оборудването не представлява допълнителен разход.

2. При някои приложения (все пак не и при критичното телефонно приложение) допълнителното закъснение на разпространението, причинено от преминаването по трасе в обратна посока по пръстена, може да повлияе на приложението на потребителя. Компютърните връзки, например, са силно чувствителни към закъснения в разпространението на сигналите. Връзка по най-краткия път по пръстена може да работи добре, но връзка в противоположната посока може въобще да не работи или може да работи със значително понижена пропускливост.

## **Асинхронен режим на предаване Asynchronous Transfer Mode (ATM)**

Асинхронният режим на предаване (Asynchronous Transfer Mode; ATM) е нова комуникационна технология, която е фундаментално и радикално различна от предшестващите технологии. Конструирана да бъде евтин начин за построяване на високоскоростна комуникационна мрежа, ATM може да обработи всякакъв вид цифрова информация (звук, данни, видео, изображение,...). ATM не е оптична технология, а е електронна технология. Но, както и Sonet/SDH, ATM е конструирана да работи и по оптични комуникационни линии. Наистина ATM е била разработена да ни позволи да ползваме предимствата на скоростта и малкия дял на грешките, които имаме при оптичните комуникации. До разработването на ATM се стигна поради:

### **Технологичните промени**

Съществуващите мрежови архитектури (SNA, OSI, TCP/IP) са били конструирани за по-старо обкръжение и не се справят добре в новото обкръжение.

По-старите комуникации не могат добре да бъдат “ускорени”. Причината е в това, че докато скоростите на линиите нарастват и процентът на грешките намалява драматично, все още нищо не сме направили, за да увеличим скоростта на светлината! Това е важно. Закъсненията при разпространението (5 микросекунди на километър) не са се променили. Повечето стари протоколи контролират потока на данните и корекцията на грешките чрез получаване на подробен отговор от противоположния край на мрежата. По тази причина стана наложително разработването на нови комуникационни архитектури.

### **Новите изисквания**

Много нови приложения бяха направени възможни чрез високоскоростните и евтини комуникации и чрез увеличения изчислителен капацитет на съвременното компютърно оборудване (персонални компютри и работни станции). Много от тези приложения включват интегрирането на звук, видео, образ и традиционни данни.

Около 1988 г. телекомуникационната индустрия започна да развива концепцията за **Цифрова Мрежа за Широкоивични Интегрирани Услуги (Broadband Integrated Services Digital Network or B-ISDN)**. Тя се породила като услуга за предоставяне на крайните потребители, по интегриран начин, на високоскоростна комуникация. Технологията, която бе избрана да доставя услугата B-ISDN, се нарича **Асинхронен режим на предаване (Asynchronous Transfer Mode or ATM)**.

**Връзки и превключватели (възли)** – Една мрежа с асинхронен режим на предаване се състои от много “превключващи възли” (“switching nodes”), свързани заедно чрез високоскоростни линии от точка до точка. Ролята на превключвателя е да получи данните по линията и да ги препрати по

друга (изходна) линия. Крайните потребители са свързани с АТМ-превключвателите със серийни връзки от точка до точка.

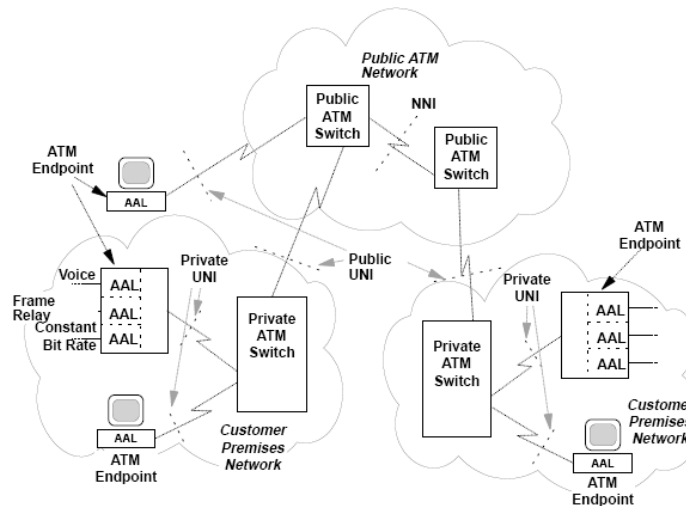
**Клетки** – Цялата информация (звук, образ, видео, данни...) се пренася през мрежата на много къси блокове данни, наричани “клетки” (48 байта данни и 5 байта “шапка”).

**Виртуални канали** – Информационният поток е по пътища (наричани “виртуални канали”), обозначени чрез серия от “стрелки” (показалци; pointers) през мрежата. “Шапката” на клетката съдържа идентификатор, който насочва клетката по правилния за нея път към крайното ѝ местоназначение. Клетки по конкретен виртуален канал винаги вървят по един и същи път през мрежата и се доставят до местоназначението им в същата последователност, в която са изпратени.

**Хардуерно-базирано превключване** – АТМ е конструирана така, че във всеки възел да могат да бъдат използвани прости хардуерно-базирани логически елементи. По линия със скорост от 1 Gbps нова клетка пристига и друга клетка се предава на всеки 0.43  $\mu$ sec. Няма много време, за да се решава какво да се прави с пристигащ нов пакет.

**Адаптиране** – В краищата на мрежата рамките с данни на потребителите се разделят на клетки. Непрекъснат поток от данни като звук и видео се комбинират в клетки. На местоназначението (при получателя) от получените клетки се възстановяват потребителските рамки с данните и се изпращат на крайния потребител във вида, в който за били подадени на мрежата. Това адаптиране се разглежда като част от мрежата, но е функция от по-високо ниво спрямо транспортирането на клетките.

## Структура на мрежата АТМ



Структура на мрежата АТМ.

**Мрежи АТМ** – На показаната фигура има три съвсем обособени мрежи – две частни и една обществена. Частните АТМ-мрежи понякога се наричат “мрежи в частни помещения” (“customer premises networks”) и, наистина, много често са в локална област като здание или кампус.

**АТМ-ключове** – На фигурата са показани четири “АТМ ключа”. Те са гръбнакът на транспорта на данните в мрежата АТМ. Обикновено се класифицират или като «Частни АТМ ключове» (“Private ATM Switches”), или като “обществени АТМ-ключове” (“Public ATM Switches”. Разликата между частните и обществените ключове е във вида на магистралите (линиите), които поддържат, в процедурите за допуск и контрол и в поддържаните режими на адресиране. Има и очевиден въпрос за размера им. Оборудването на публичната мрежа обикновено изисква много по-голям пропускателен капацитет, отколкото частното оборудване.

**Крайни точки на АТМ** – Крайната точка на АТМ е някакво оборудване на крайния потребител, което е свързано с интерфейс към АТМ-мрежата. Крайната точка изпраща и получава АТМ-клетки по линията, дефинирана съгласно АТМ-стандартите. Крайната точка (и само крайната точка) съдържа функция “Адаптиране към АТМ” (АТМ Adaptation Layer; AAL).

**Линии** – Може да имаме една или много физически свързани линии между възлите. Линиите между възлите могат да са “чисти канали” (напр. пряка връзка от точка до точка), но могат да се пренасят и по линия Sonet/SDH или по линия PDH.

**Клетки** – Както беше споменато по-рано, Мрежата АТМ транспортира данни (вкл. глас и видео) като 53-байтови “клетки”. Целта е да се осигури много кратко и постоянно по стойност време за преминаване по мрежата. В рамките на мрежата няма възстановяване на грешки (няма детектиране на грешки в “шапката” на клетката). Контролът на потока и претоварването не се прави с детайлни интерактивни протоколи, както е в традиционните мрежи за данни, а чрез контрол на скоростта на допускане на трафика до мрежата ( и строго упование на статистическите характеристики на трафика). Когато се почувства претоварване на мрежата, няма алтернатива – трябва да се игнорират клетки.

Едно от големите предимства на АТМ е, че може да се ползва по много физически среди от различен вид (оптични влакна, медни проводници, радиовълни). Има много и различни стандарти и предложени стандарти за създаване на АТМ-връзки в различни обкръжения. Понастоящем (1998г.) се стандартизират две скорости на разпространение:

--- 155 мегабита за секунда

--- 622 мегабита за секунда

Планират се и други (по-високи) скорости.