

# Нягтруулга

# Multiplexing

Лекц 6

# Нягтруулга

## Агуулга:

- Нягтруулга гэж юу вэ?
- Нягтруулгын үндсэн хэмжигдэхүүн
- Давтамжийн хуваалттай нягтруулга (FDM)
- Долгионы хуваалттай нягтруулга (WDM)
- Хугацааны хуваалттай нягтруулга (TDM)
  - Синхрон
  - Асинхрон

# Яагаад нягтруулга хийх хэрэгтэй вэ?

- Практикт дамжуулалд шаардлагатай зурвасын өргөн хязгаарлагдмал байдаг. Иймээс FDM-г ухаалгаар ашиглах нь ӨХ-ны гол зорилго байдаг.
- Нарийн зурвасын сувгуудыг нэгтгэж, өргөн зурвасаар дамжуулах шаардлага гарна. Зарим үед нууцлал болон сувгуудын харилцан нөлөөллийн асуудлуудыг шийдэхийн тулд сувгийн спектрийг өргөсгөдөг.
- Нягтруулга нь зурвас ашиглалтыг сайжруулах, дамжууллын хурдыг ихэсгэх сайн талтай.

# Нягтруулга

*Бие даасан тус тусын сувгуудыг нягтруулна гэдэг нь МУЛТИПЛЕКСОР (MUX) гэж нэрлэгдэх төхөөрөмжийн тусламжтайгаар нэгтгэж нэг суваг үүсгэн өгөгдлийг дамжуулахыг хэлнэ.*

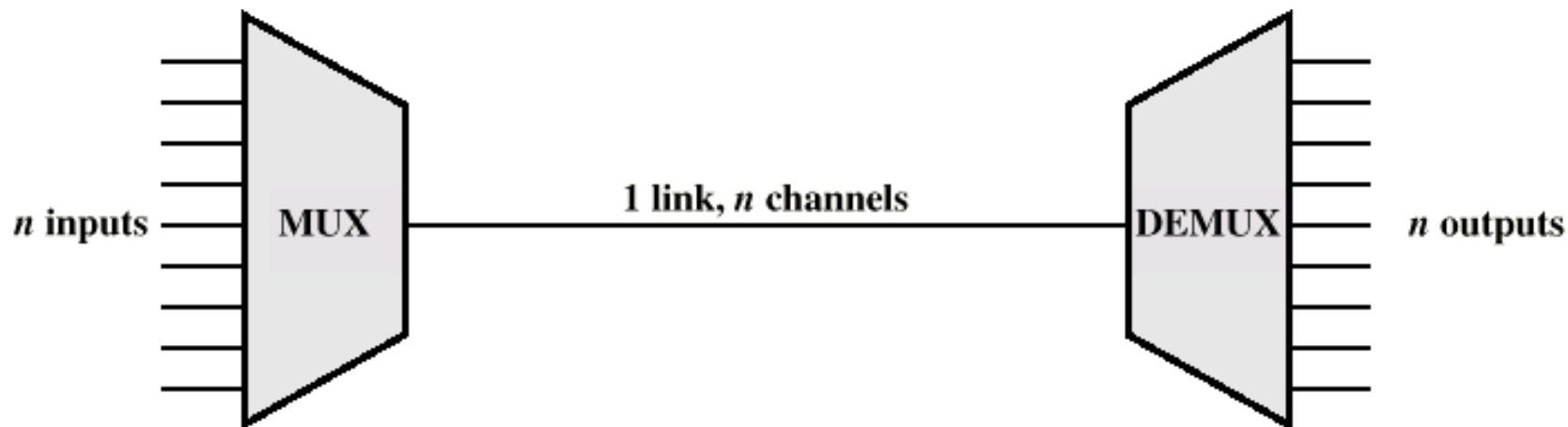
Ө.х сувгийн бүрэн зурвас дахь хэрэглэгч бүрийг давтамжийн зурвасаар хангах боломжийг олгодог.



- Multiplexor (MUX)
- Demultiplexor (DEMUX)

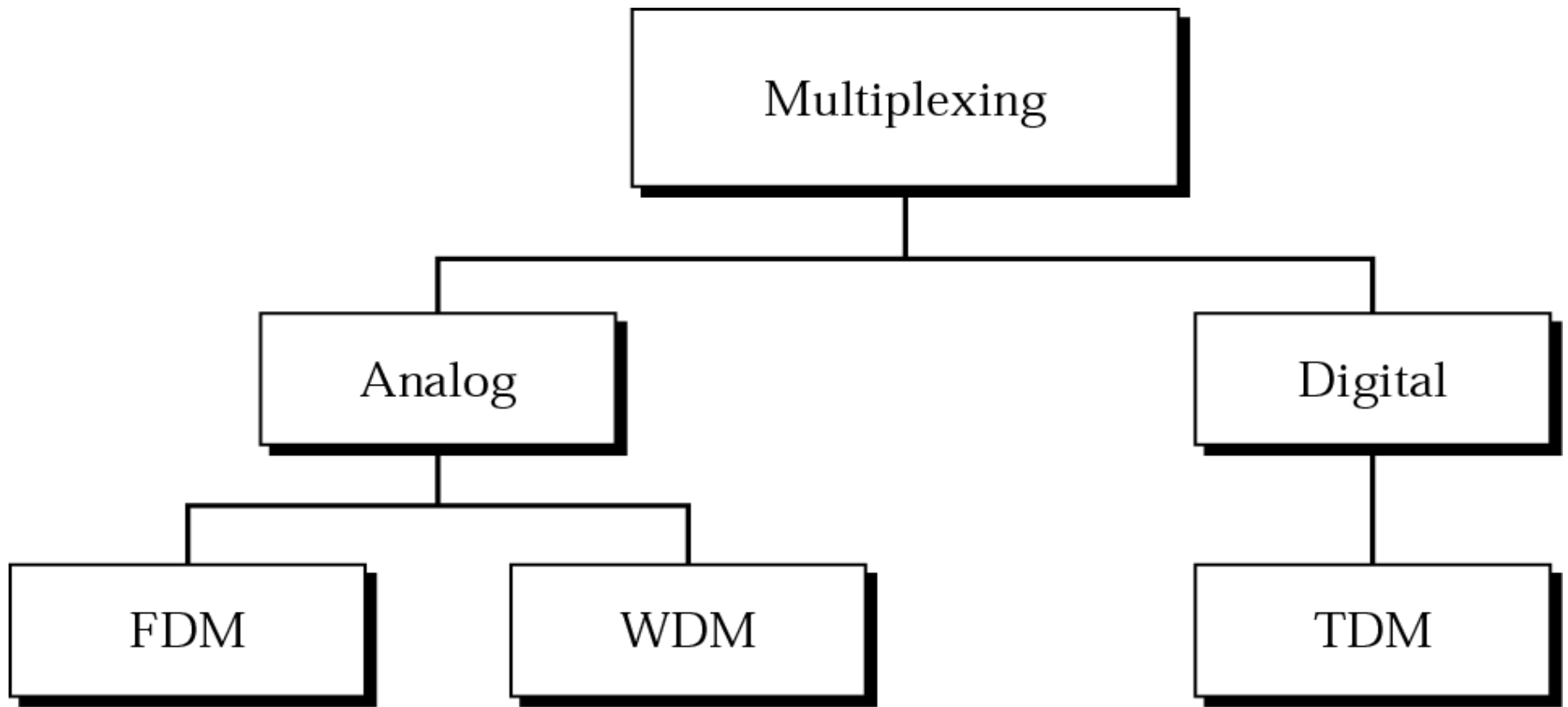
# Нягтруулга

Нягтруулгын систем нь  $n$  суваг, 1 шугамыг зэрэг ашиглана. Шугам гэдэг нь физик замыг харин суваг гэдэг нь сувгаар дамжиж буй дамжууллын нэгж хэсгийг хэлнэ. Ө.х нягтруулгын үед 1 шугамаар олон суваг дамжиж болно.



- Multiplexor (MUX)
- Demultiplexor (DEMUX)

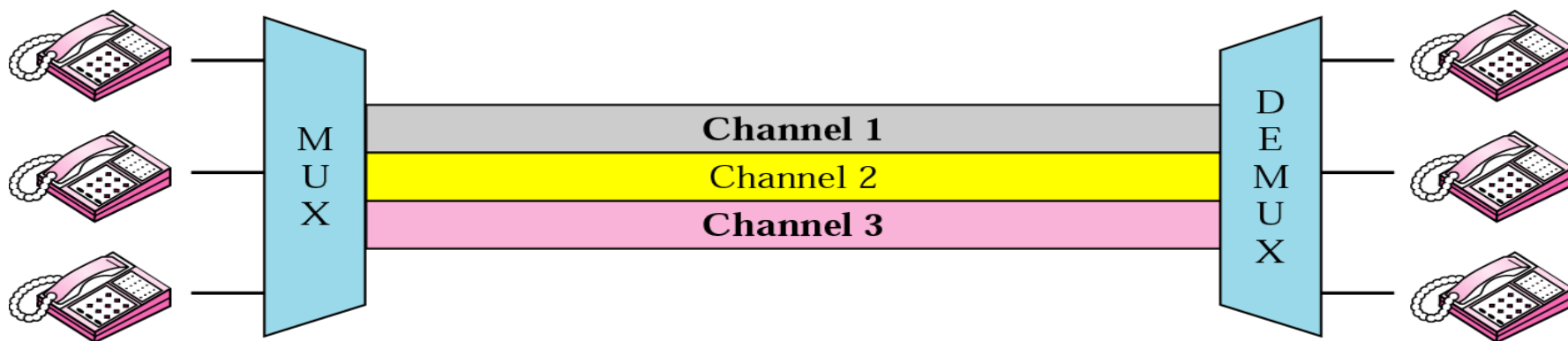
# Нягтруулгын ангилал



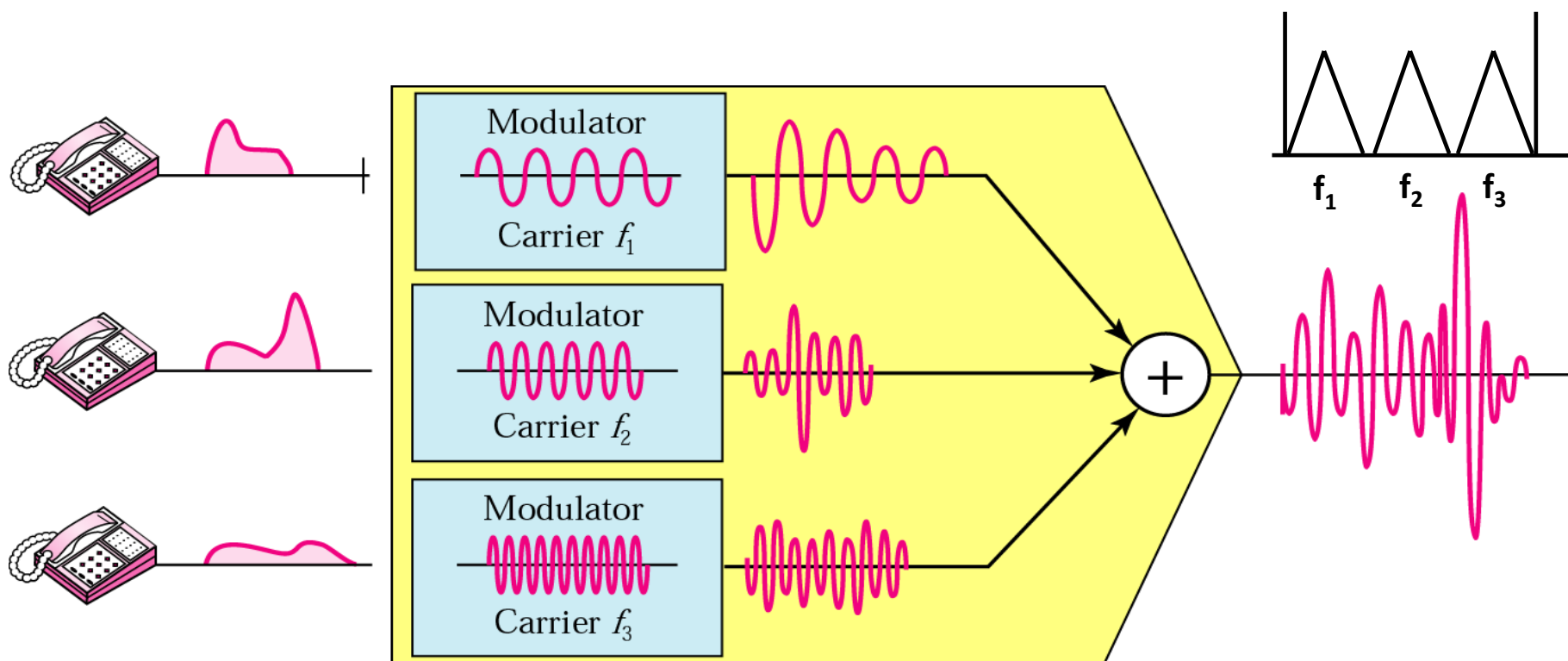
There are three basic multiplexing techniques: **frequency-division multiplexing**, **wavelength-division multiplexing**, and **time-division multiplexing**. The first two are techniques designed for analog signals, the third, for digital signals

# FDM-Давтамжийн хуваалттай нягтруулга

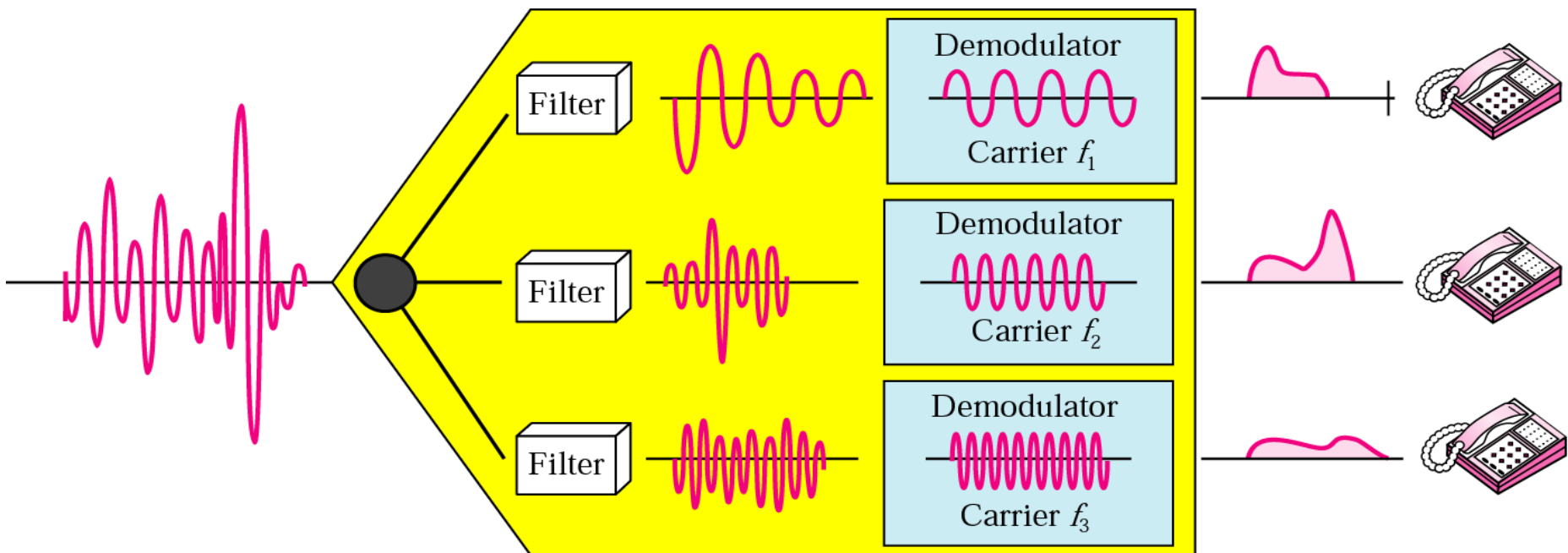
- Давтамжийн хуваалттай нягтруулга (FDM) нь шугамын зурвасын өргөн дамжигдах дохионуудын нийт зурвасын өргөнөөс их байх тохиолдолд хэрэглэгдэх аналог нягтруулгын арга юм.
- Энэ нь нэг дамжуулах орчин бүхий зурвасыг ялгаатай давтамжийн сувгуудад хуваана.
- Илгээгч төхөөрөмжөөс гарч буй дохиог төхөөрөмж бүрт оногдсон ялгаатай зөөгч давтамжтай дохионуудаар модуляцлаж тэдгээр дохионуудыг нэгтгэн нэг шугамаар дамжуулдаг.
- Эдгээр сувгууд нь хамгаалах зурвасуудаар тусгаарлагдана.



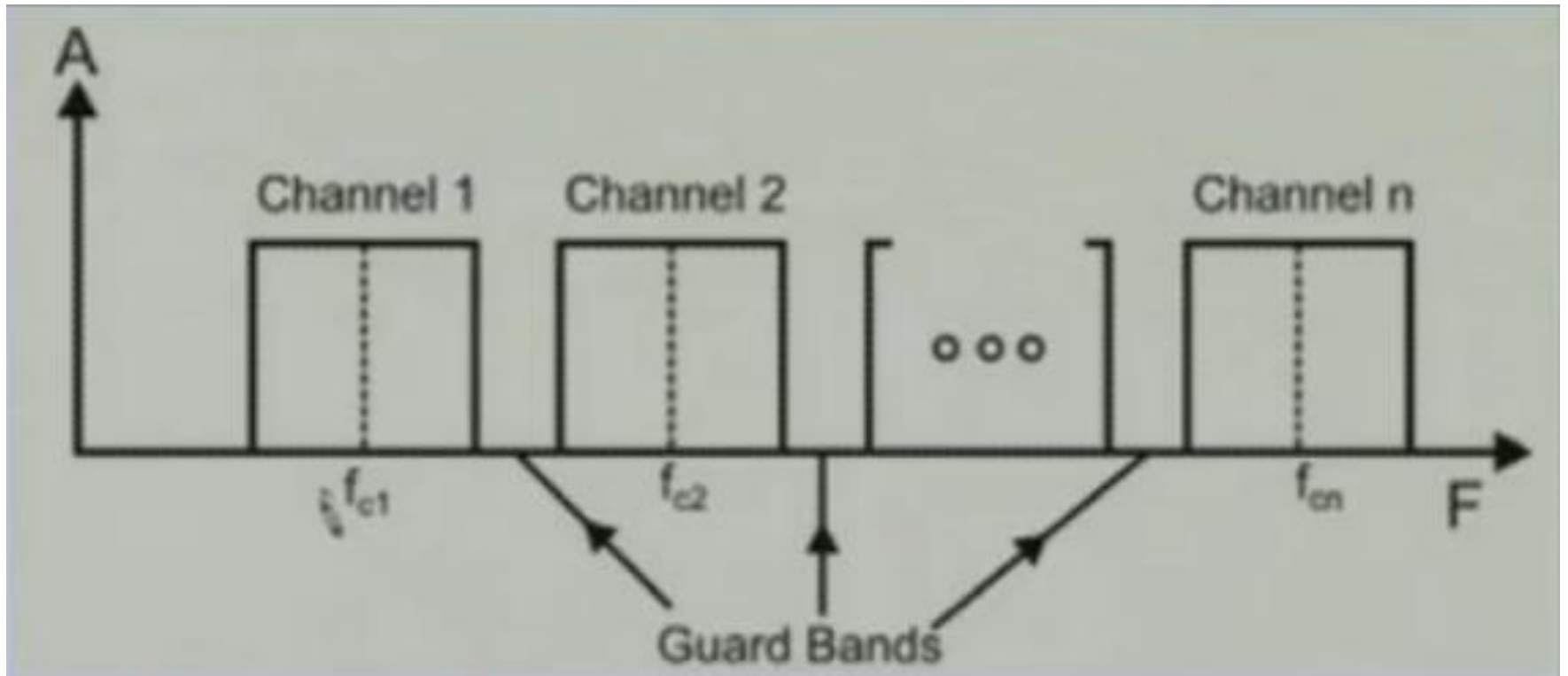
# Давтамжийн хуваалттай нягтруулгын процесс



# ДХН-ын demultiplexing процесс



## Давтамжийн хуваалттай нягтруулга



- Нягтруулагдаж байгаа сувгууд нь өөр хоорондоо нөлөөлөл үүсэхээс сэргийлж хамгаалах зурвастай байна

## ***Давтамжийн хуваалттай нягтруулгын хэрэглээ***

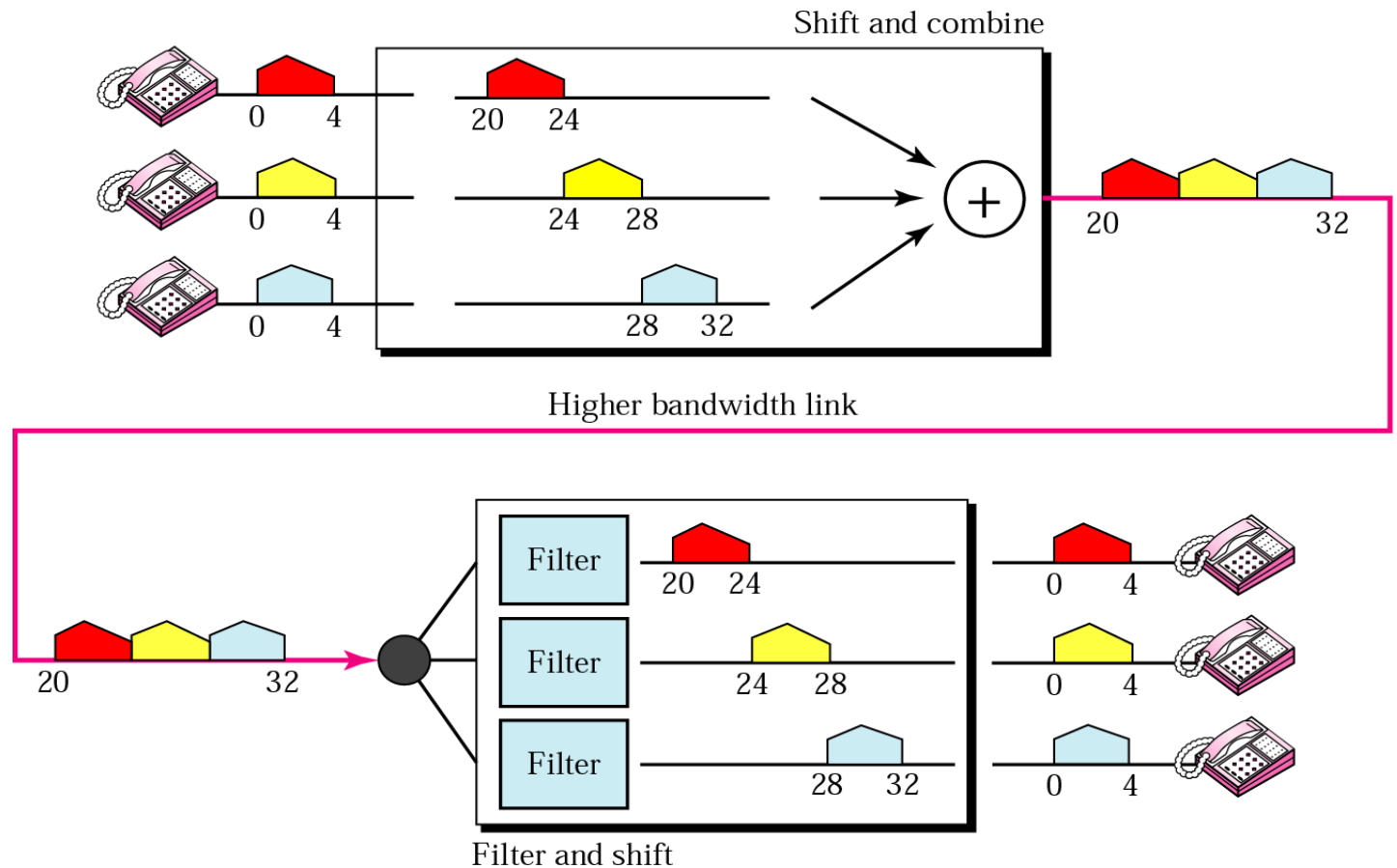
---

- *AM (530КГц-1700КГц)-10КГц/ FM (88МГц-108МГц)-200КГц/ радио нэвтрүүлэг*
- *TV-ийн нэвтрүүлэг- 6МГц*
- *Кабелийн телевиз-суваг бүр 30КГц, хэрэглэгч бүрт 60КГц зурвас онооно*

# Жишээ

Ярианы дохионы зурвасын өргөн 4 КГц. 3 дохионы сувгийг 20-оос 32 КГц-ийн хооронд 12КГц зурвасын өргөнд хамгаалах зурвасгүйгээр нягтруулж илгээсэн гэвэл давтамжийн тохиргоо хэрхэн хийгдэх вэ?

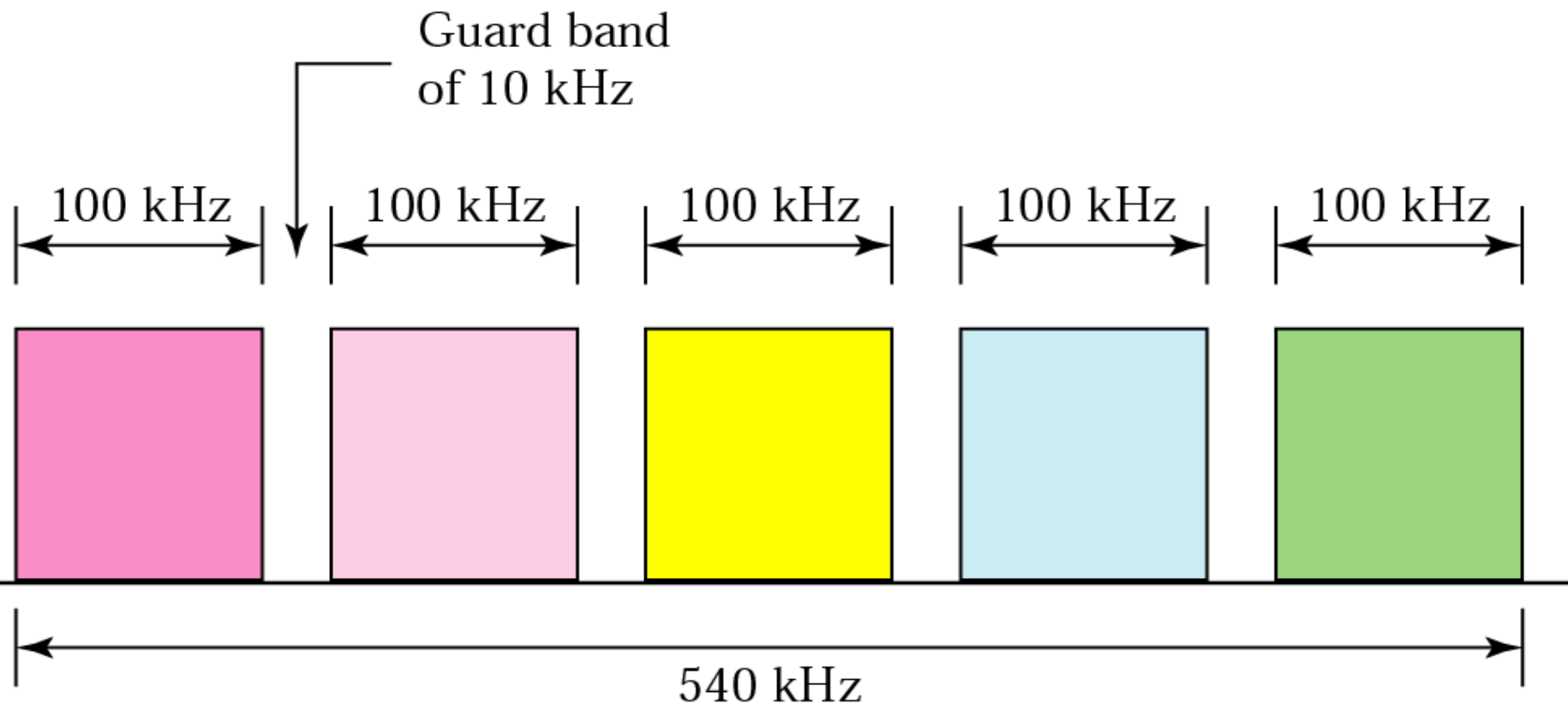
Гурван ярианы дохио нь ялгаатай зурвасын өргөнд модуляцлагдана.



*Жишээ* 100 КГц зурвасын өргөн бүхий 5 сувгийг нягтруул.  
Хамгаалах зурвасын өргөнийг 10 КГц гэж үзвэл шугамын  
зурвасын өргөнийг тооцоол.

5 сувагт хамгаалах зурвас 4 байна.

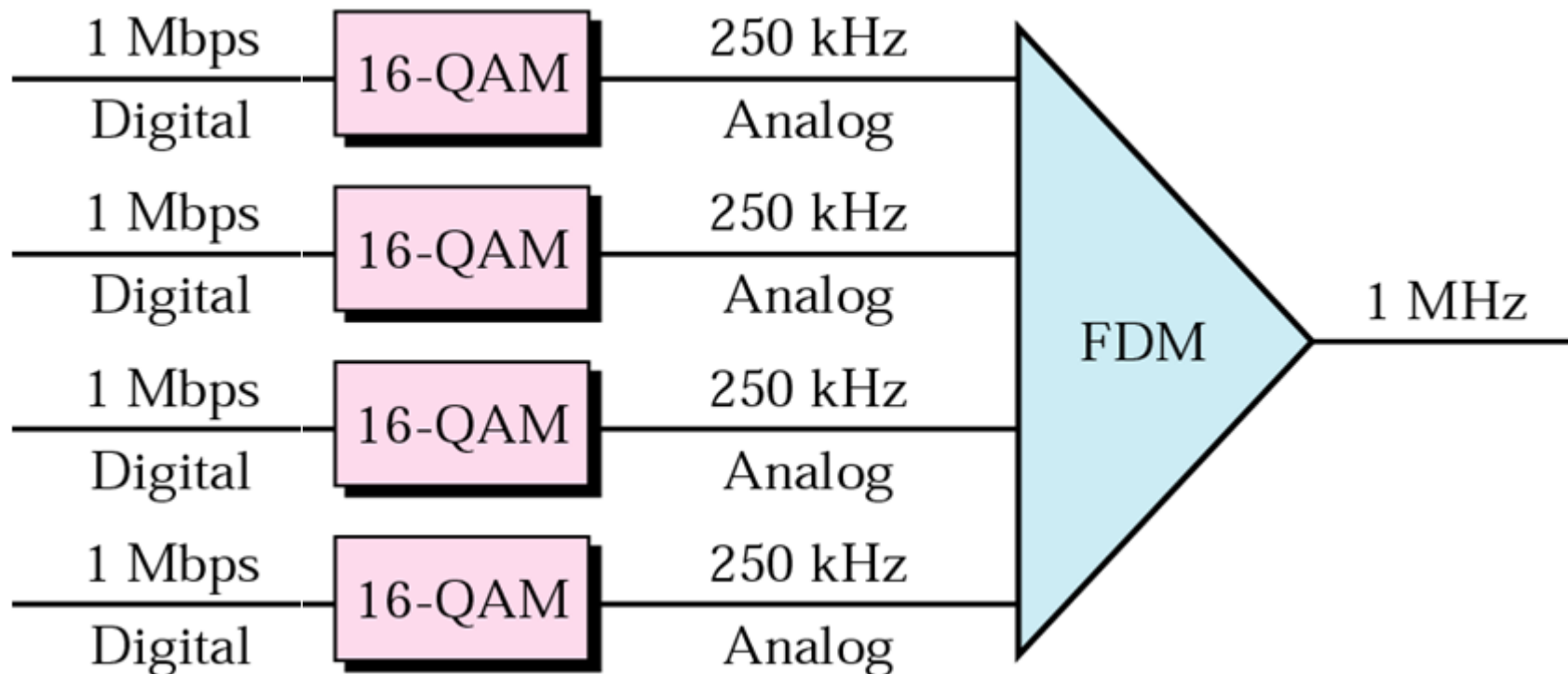
Зурвасын өргөн  $5 \times 100 + 4 \times 10 = 540$  КГц,



*Жишээ*

1Mbps хурдтай тоон өгөгдлийн 4 суваг 1МГц-ийн хиймэл дагуулын шугамаар дамжина гэвэл FDM хэрхэн хийгдэхийг дүрсэл.

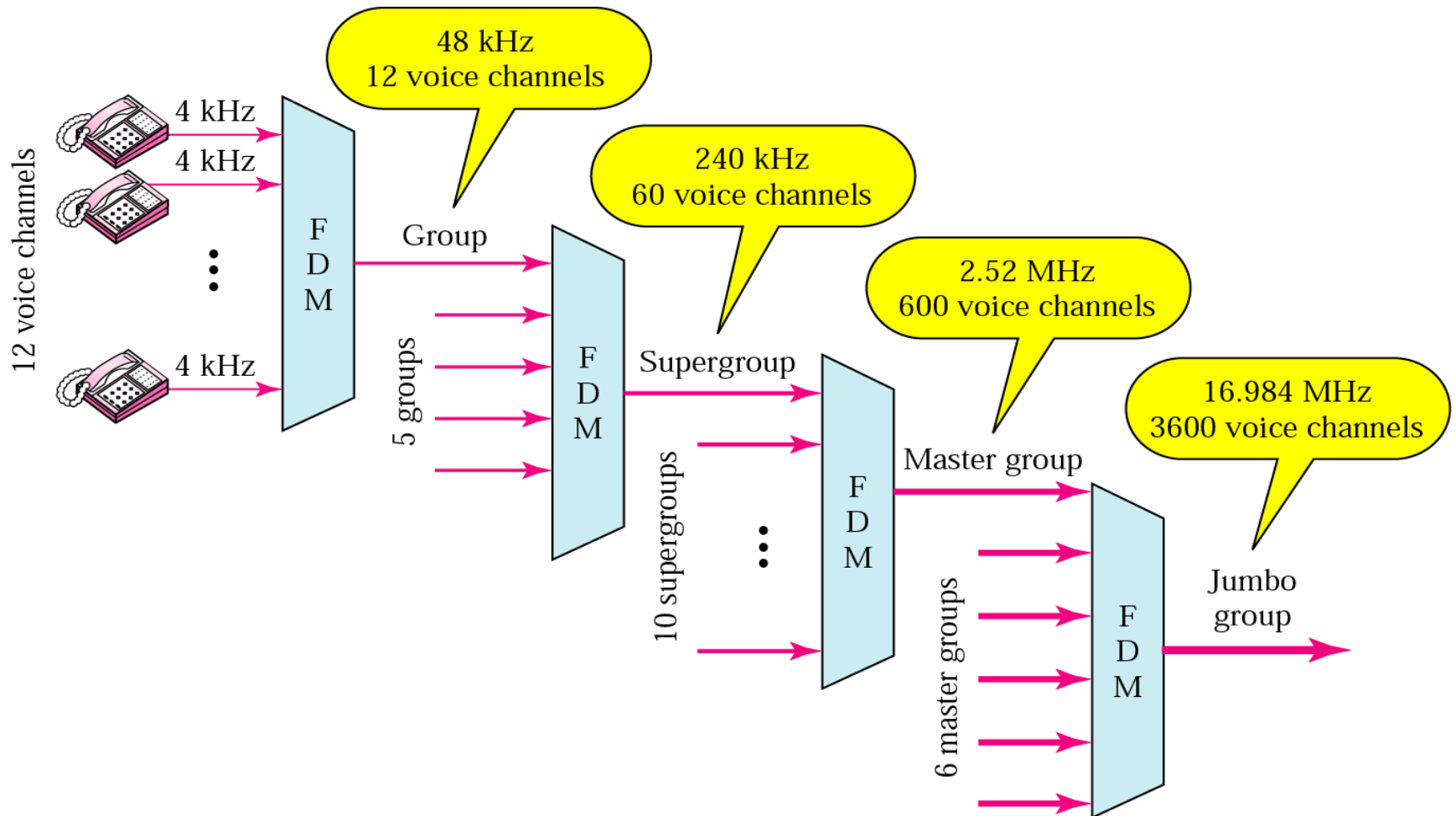
Сансрын холбоо нь аналог. 250КГц бүхий зурвасын өргөн бүхий 4 сувгийг нягтруулна.



## Аналог шатлал:

Цахилгаан холбооны компаниуд-нарийн зурвасын дохионуудыг нэг өргөн зурваст нягтруулах аргыг ашигладаг.

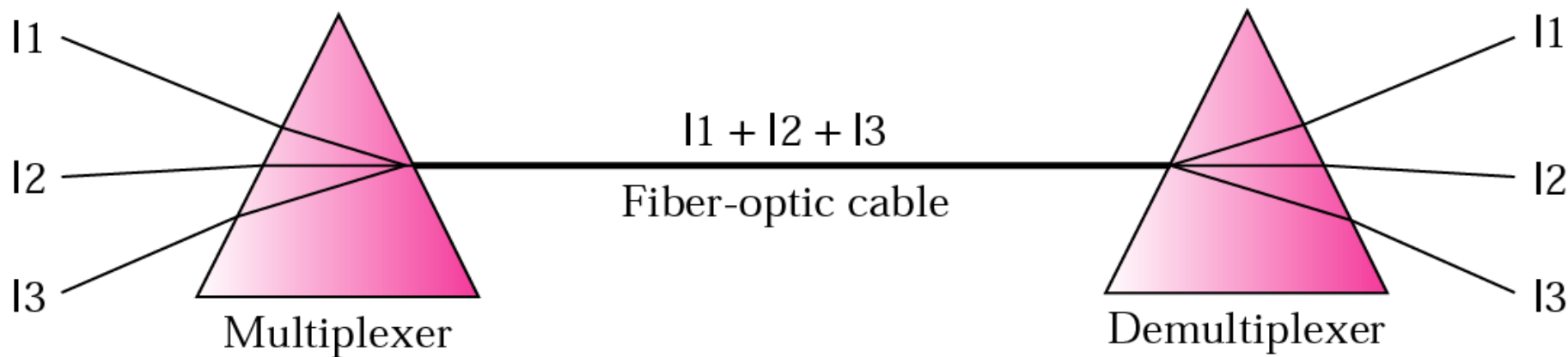
Энэ арга нь олон холболтын шугамууд, түрээсийн шугамуудыг цөөн тооны өргөн зурвасын шугамд нэгтгэнэ.



# WDM-Долгионы хуваалттай нягтруулга

- Долгионы уртаар нь хуваах нягтруулга (WDM) нь өгөгдөл дамжуулах өндөр хурдны үзүүлэлттэй шилэн кабельд хэрэглэгдэнэ.
- Шилэн кабелийн өгөгдөл дамжууллын хурд нь металл кабелийн өгөгдөл дамжууллын хурдаас илүү хурдан байдаг.

# Долгионы хуваалттай нягтруулгын зарчим



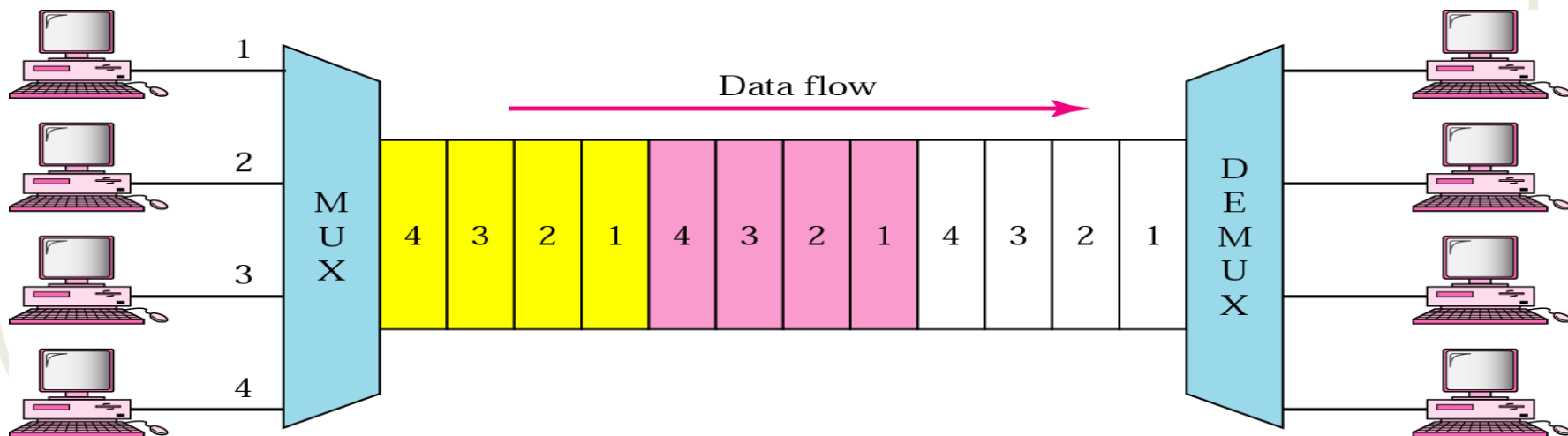
-WDM бол үүсгүүрээс гарсан анхны гэрлийг multiplexer дээр нэг гэрлэн дохио болгоод demultiplexer дээр эсрэг үйлдлийг хийдэг. Анхны гэрлэн дохионуудыг сэргээх болон нэгтгэх, хуваалт хийх ажиллагаа нь призмээр маш хялбархан хийгддэг. Призм гэдэг нь гэрлийн хугарлыг ашиглан давтамжийн өнцгийг тооцож гэрлийн цацрагыг дамжуулах арга юм.

-WDM-ийн нэг хэрэглээ бол олон тооны оптик шилэн шугам нягтруулагдах, мөн demultiplexing хийгддэг **SONET** сүлжээ юм.

-**DWDM** (Dense WDM ) гэж нэрлэгдэх бас нэгэн шинэ арга нь маш олон сувгуудын нэгийг бусдаас нь хаах сансрын сувгын аргаар нягтруулагддаг юм.

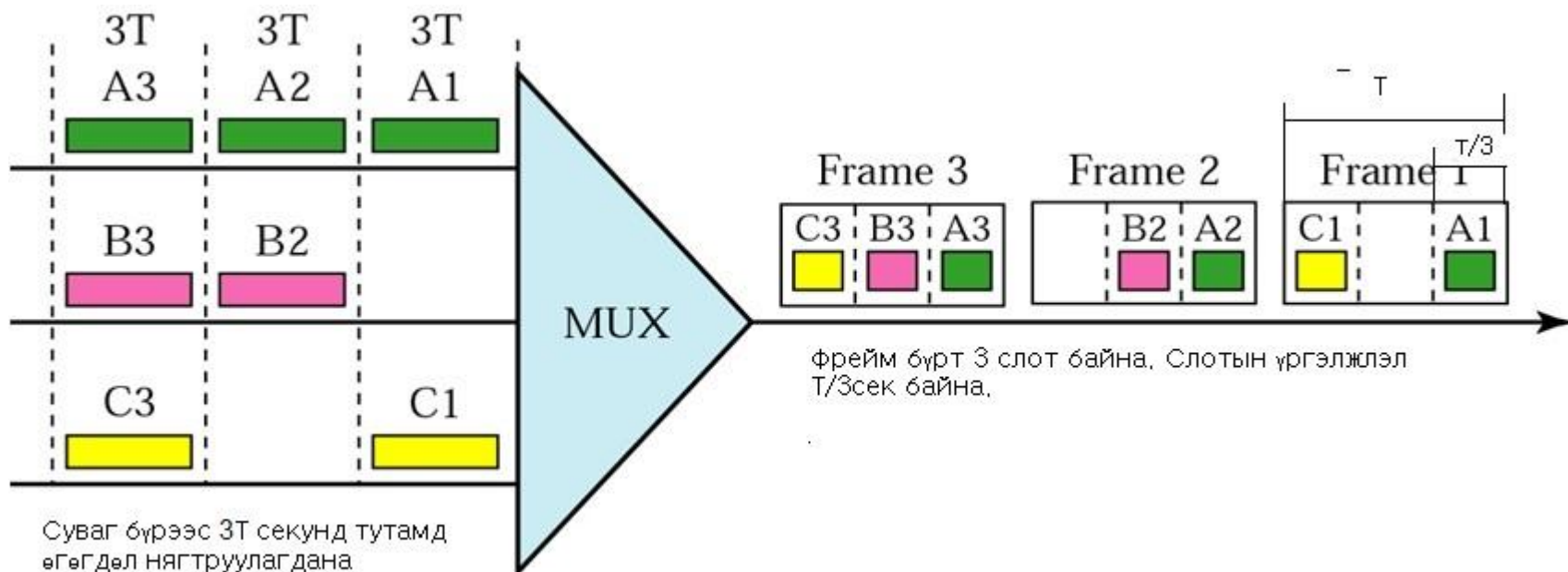
# Хугацааны хуваалттай нягтруулга

- Хугацааны хуваалттай нягтруулга нь тоон нягтруулгын систем бөгөөд олон тоон дохионууд нэг дамжуулалтаар зөөгдөх ба тоон дохио бүр хугацааны өөр өөр агшинд слотоо дамжуулна.
- FDM- нь зурвасын өргөнийг хувааж ашигладаг бол TDM нь хугацааг хуваан ашигладаг.
- Слот нь бит, байт эсвэл тэмдэгт байна.



# Слот ба фрейм

- Синхрон TDM –н үед үүсгүүрээс гарч буй өгөгдлийн урсгал өгөгдлийн нэгжүүдэд хуваагдах бөгөөд нэгж бүр нь оролтын нэг хугацааны слотыг эзэлнэ.
- Оролтын эх үүсгүүрээс гарах слотууд фреймд нэгтгэгдэнэ.
- Хэрэв оролтын өгөгдлийн нэгжийн үргэлжлэлийг  $T$  гэвэл гаралтын фрейм  $T$  хугацаанд дамжигдах ба гаралтын слот бүр  $T/n$  хугацаанд дамжигдана.



# TDM нягтруулга

## Синхрон нягтруулга:

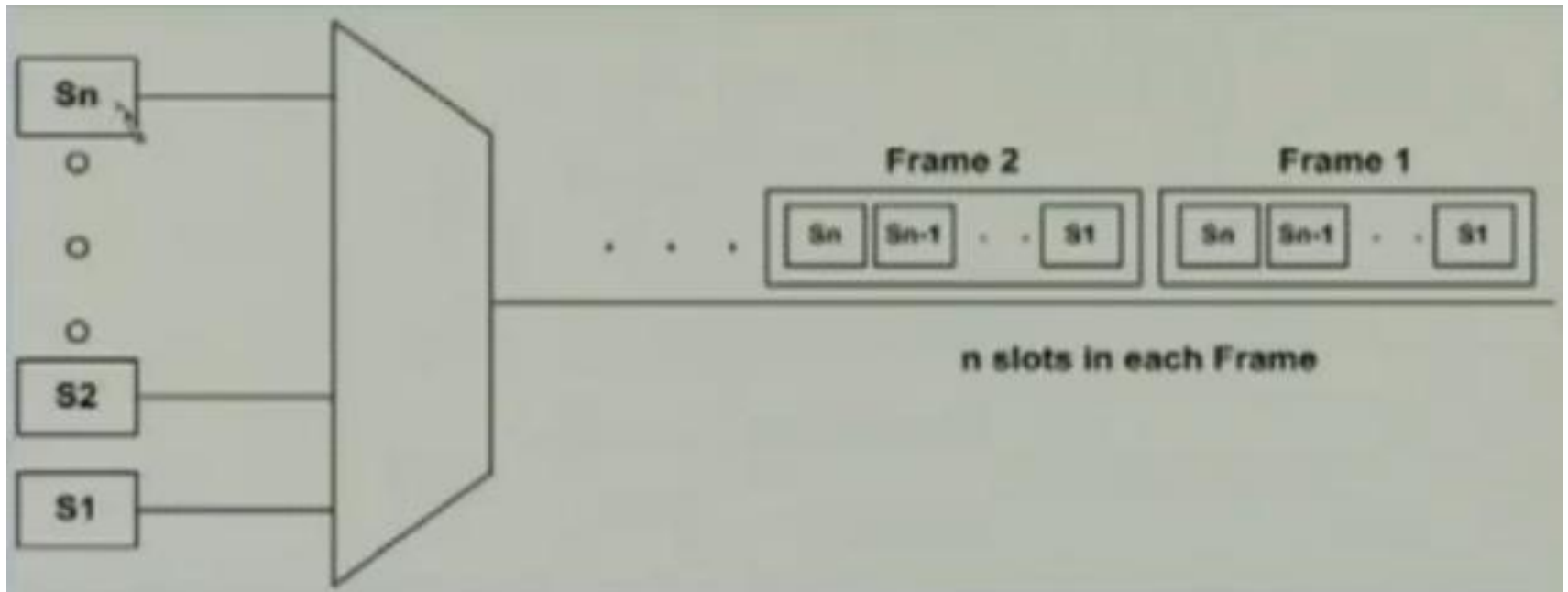
Тоон Синхрон нягтруулга нь бүх үүсгүүрүүд удирдлагын цагаар зохицуулагддаг. Тиймээс бүх үүсгүүр ижил хурдтай битийг үүсгэдэг.

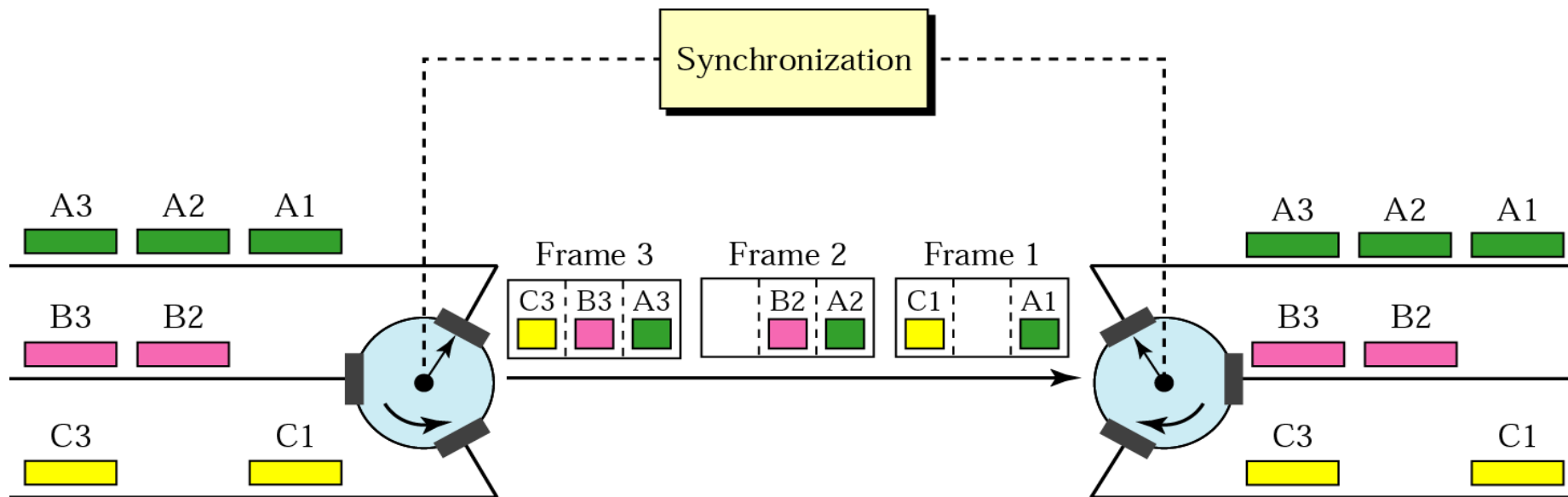
## Асинхрон нягтруулга

Асинхрон нягтруулга нь star/stop загварыг ажиллуулах тоон өгөгдлийн үүсгүүрийг ашигладаг. Үүсгүүр өгөгдлийг цувааг багц болгодог.

# Синхрон хугацааны хуваалттай нягтруулга

- Эх үүсгүүрээс үүсгэгдэх өгөгдөл нь буферлэгдэнэ
  - Буферлэгдсэн өгөгдөл бүр нэг бит эсвэл нэг тэмдэгт байна.
  - Эх үүсгүүрүүдээс буферлэгдсэн өгөгдлүүд нь тодорхой дараалал бүхий нийлмэл өгөгдлийн урсгалын хэлбэрт шилжинэ.

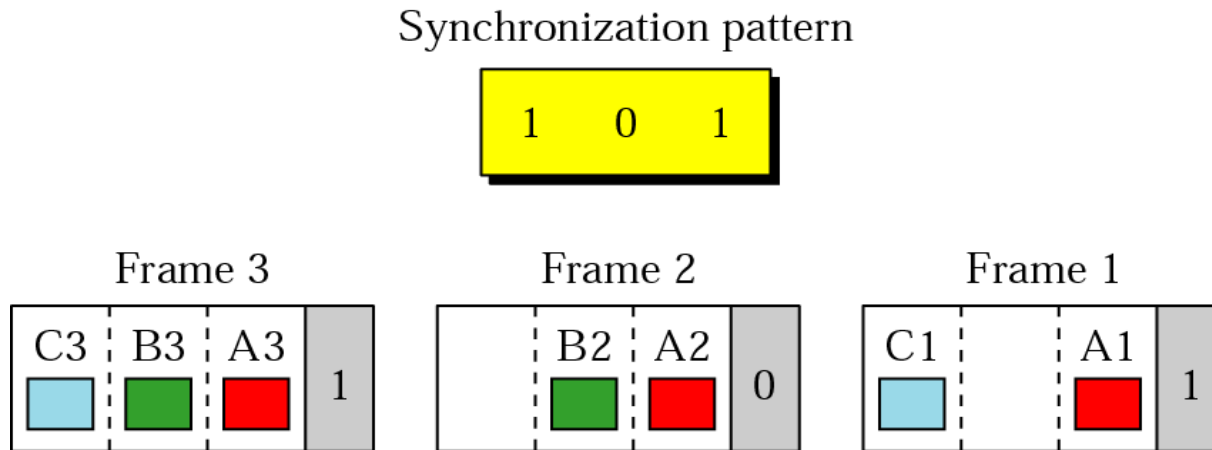




Синхрон ТДМ-үед эх үүсгүүр төхөөрөмж өгөгдөл илгээгээгүй үед гаралтын фреймд хоосон слот дамжуулдаг. Энэ нь ТДМ-н дутагдал юм.

# Синхрончлол

- Фрейм синхрончлол : Суваг удирдлагын бит нэмнэ.



- Pulse Stuffing/Bit padding : Эх үүсгүүрүүдийн өгөгдлийн хурд ялгаатай бол битээр дүүргэж синхрончилно.

8Kbps ----->

7.2Kbps ----->

*Жишээ* 1Kbps бүхий 4 суваг 1 бит слоттой нягтруулагдсан бол нягтруулагдахаас өмнөх 1 битийн үргэлжлэх хугацаа, гаралтын шугамын дамжуулах хурд, слотын үргэлжлэх хугацаа, фреймийн үргэлжлэх хугацааг тооцоол.

*Бодолт:*

- 1 битийн үргэлжлэх хугацаа  $1/1 \text{ Kbps} = 1 \text{ ms}$*
- Шугамын хурд = 4 Kbps.*
- Time slot =  $T_{bit}/n = 1/4 \text{ ms} = 250 \mu\text{s}$ .*
- $T_{frame} = 1 \text{ ms}$ .*

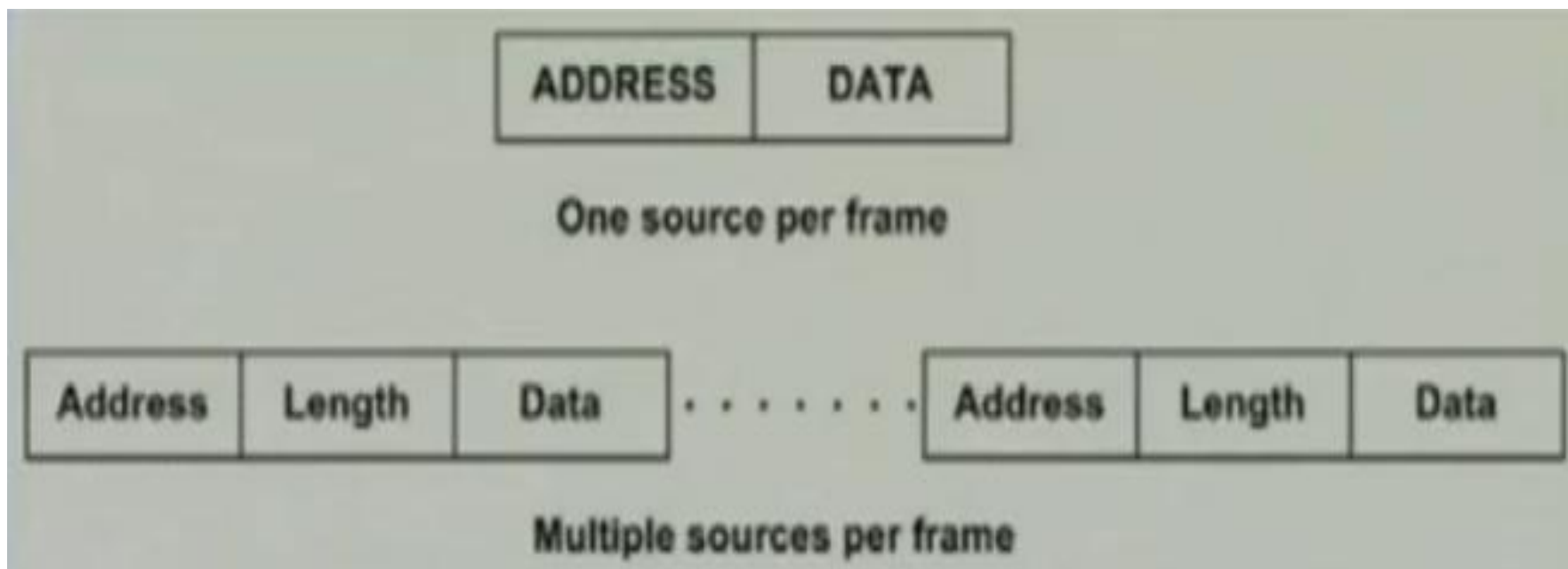
# *Асинхрон хугацааны хуваалттай нягтруулга*

---

- Синхрон TDM-ын хувьд фрейм дэх слотын тоо олон болох тусам хэрэггүй дамжуулалт ихэснэ.
- Statistical / Asynchronous / Intelligent TDM-аар асуудлыг шийдвэрлэнэ.
- Statistical TDM нь слотуудыг динамикаар байрлуулна.
- Тухайн хугацаанд зөвхөн өгөгдөл илгээж байгаа төхөөрөмжийн слотууд нэгтгэгдэж дамжигдана.

# Асинхрон хугацааны хуваалттай нягтруулга

- Слотууд дээр зөв хүлээн авагчдаа хүргэгдэхийн тулд хаягийн мэдээлэл нэмэгдэнэ.
- Слот бүр нэмэлт удирдлагын мэдээлэл агуулна.



# Асинхрон хугацааны хуваалттай нягтруулга

---

- Асинхрон TDM-ын үед гаралтын өгөгдлийн хурд нь оролтын хурднаас багасдаг.
- Буфферлэх боломжит хэмжээг дараах байдлаар тооцоолно:  
 $n$  = оролтын сувгийн тоо,  $r$  = эх үүсгүүр бүрийн өгөгдөл дамжуулах хурд,  $M$  = гаралтын өгөгдөл дамжуулах хурд,  $\alpha$  = эх үүсгүүрээс дамжуулж буй оролтын өгөгдлийн хугацааны хуваалт  $0 < \alpha < 1$ .  
Эндээс :  $\alpha < C < 1$  үед  $C = M / nr$

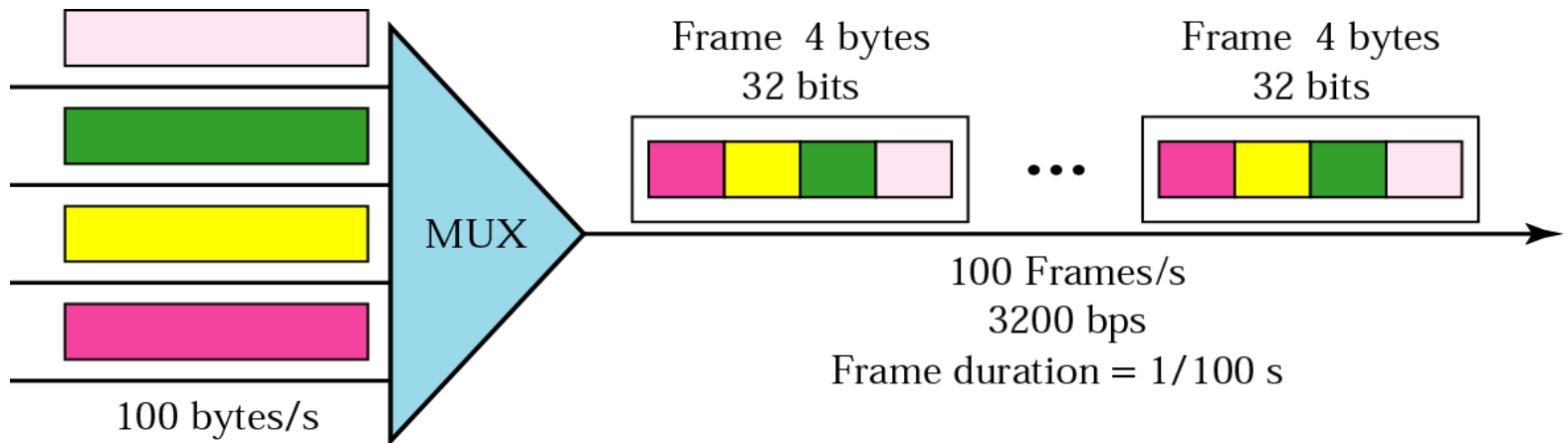
## Өгөгдлийн хурдны зохицуулалт

TDM-н нэг асуудал бол оролтын сувгийн хурдны зөрүү юм. Үүнийг 3 аргаар зохицуулна.

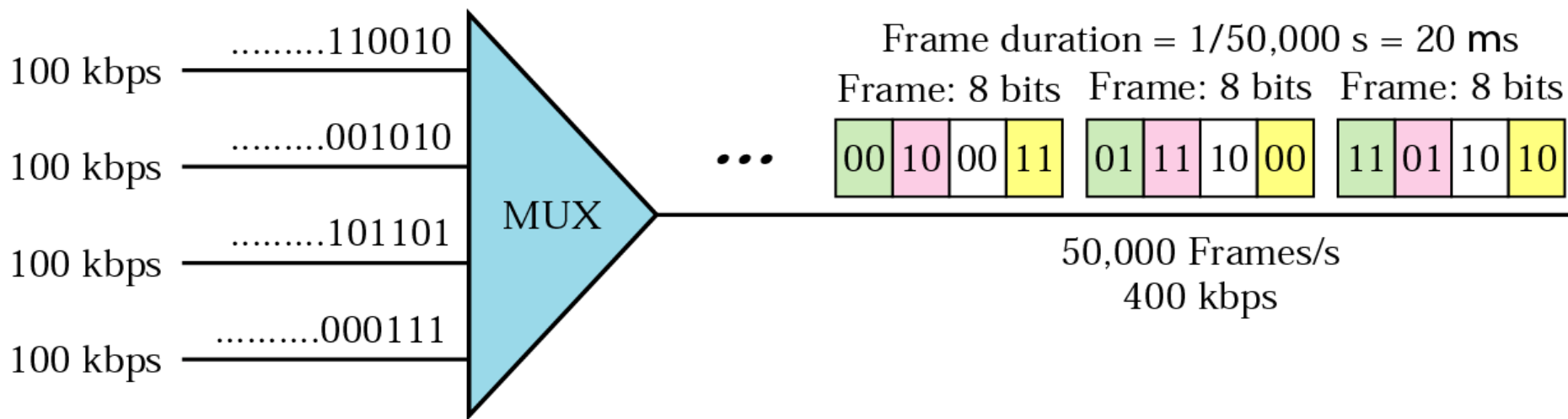
1. **Олон түвшинт нягтруулга**-оролтын суваг бусад сувгаас их хурдтай үед ижил хурдтай болгоно.
2. **Олон слот хуваарилалтын арга**-зарим тохиолдолд гаралтын фреймд нэг сувгийн нэгээс олон слотыг хуваарилах нь үр ашигтай байдаг
3. **Дүүргэлтийн арга**-оролтын сувгуудын бит хурд хоорондоо бага зэрэг зөрүүтэй үед өндөр хурдтай сувгийг үндсэн суваг гэж үзээд бага хурдтай сувгийг битээр дүүргэн сувгийн хурдыг нэмэх арга юм

*Жишээ*

Дөрвөн суваг TDM нягтруулагдсан. Суваг бүр 100byte/s илгээдэг бөгөөд 1байт слоттой нягтруулагдсан бол шугаман дахь фреймийг дүрсэл, фреймийн үргэлжлэх хугацаа, шугамаар дамжих фрейм хурд, бит хурд, слотын үргэлжлэх хугацааг тооцоол.



*Жишээ* 100 Kbps хурдтай 4 сувгийг 2 битийн time slot-тойгоор нягтруулсан. Дурын 4 оролттойгоор гаралтыг дүрсэл. Фрейм хурд, фреймийн үргэлжлэх хугацаа, шугамын хурд, шугамын битийн үргэлжлэх хугацааг тооцоол.



*Жишээ* 4 эх үүсгүүрээс сек-д 250 тэмдэгт үүсгэгдэнэ. Сувгийг 1 тэмдэгт, 1 синхрончлолын биттэйгээр нягтруулсан гэвэл сувгийн өгөгдлийн хурд, тэмдэгтийн үргэлжлэх хугацаа, фрейм хурд, фрейм үргэлжлэх хугацаа, фрейм дэх битийн тоо, шугамын хурдыг тооцоол.

1. Эх үүсгүүрийн өгөгдлийн хурд  $2000 \text{ bps} = 2 \text{ Kbps}$ .
2. Тэмдэгтийн үргэлжлэх хугацаа  $1/250 = 4 \text{ ms}$ .
3. Фрейм хурд  $250 \text{ frame/сек}$
4. Фрейм үргэлжлэх хугацаа  $1/250 = 4 \text{ ms}$ .
5. Фрейм дэх битийн тоо  $4 \times 8 + 1 = 33 \text{ bit}$
6. Шугамын хурд  $250 \times 33 = 8250 \text{ bps}$ .

# Multiplexing Applications

- Телефон холбооны систем
  - Аналог үйлчилгээ
  - Тоон үйлчилгээ
- DSL технологи
  - ADSL
  - SDSL
  - HDSL
  - VDSL

# Телефон холбооны систем

---

- Телефон холбооны системд FDM, TDM-ыг аль алиныг нь ашиглана.



# *Телефон холбооны систем*

---

- Телефон холбооны үйлчилгээ
  - Аналог үйлчилгээ  
Телефон холбооны уламжлалт үйлчилгээ
  - Тоон үйлчилгээ  
Орчин үеийн дэвшилтэт технологи

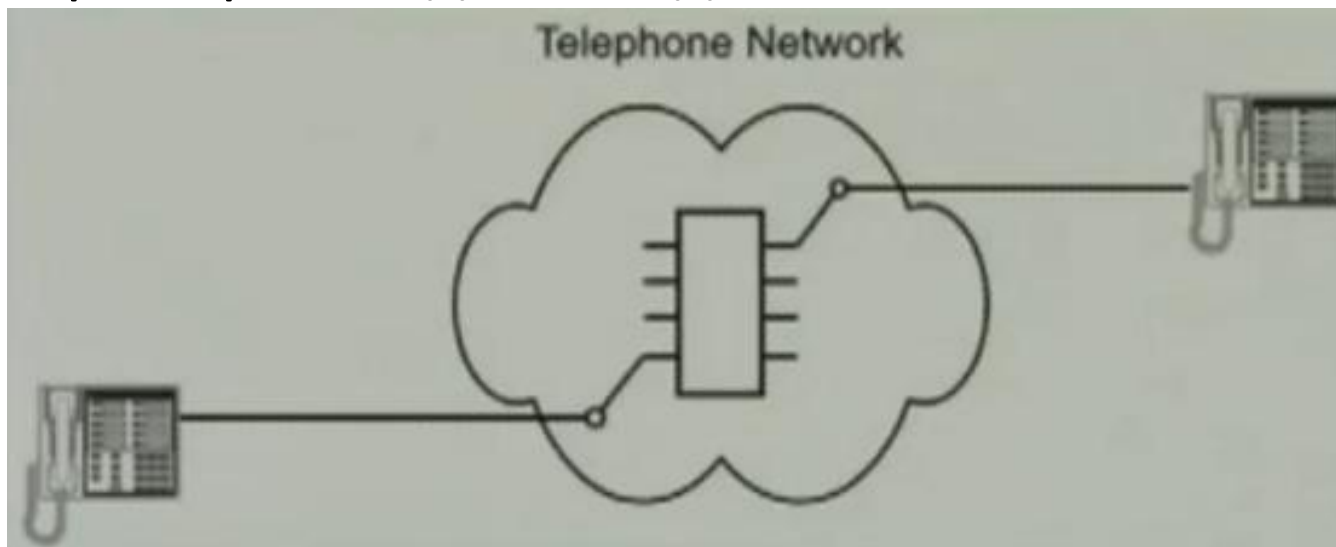
# *Телефон холбооны аналог үйлчилгээ*

---

- Телефон холбооны аналог үйлчилгээ
  - Analog switched service : Суурин холбоо, гэрийн утас
  - Analog leased service : Хоёр хэрэглэгч хоорондын түрээсийн шугам

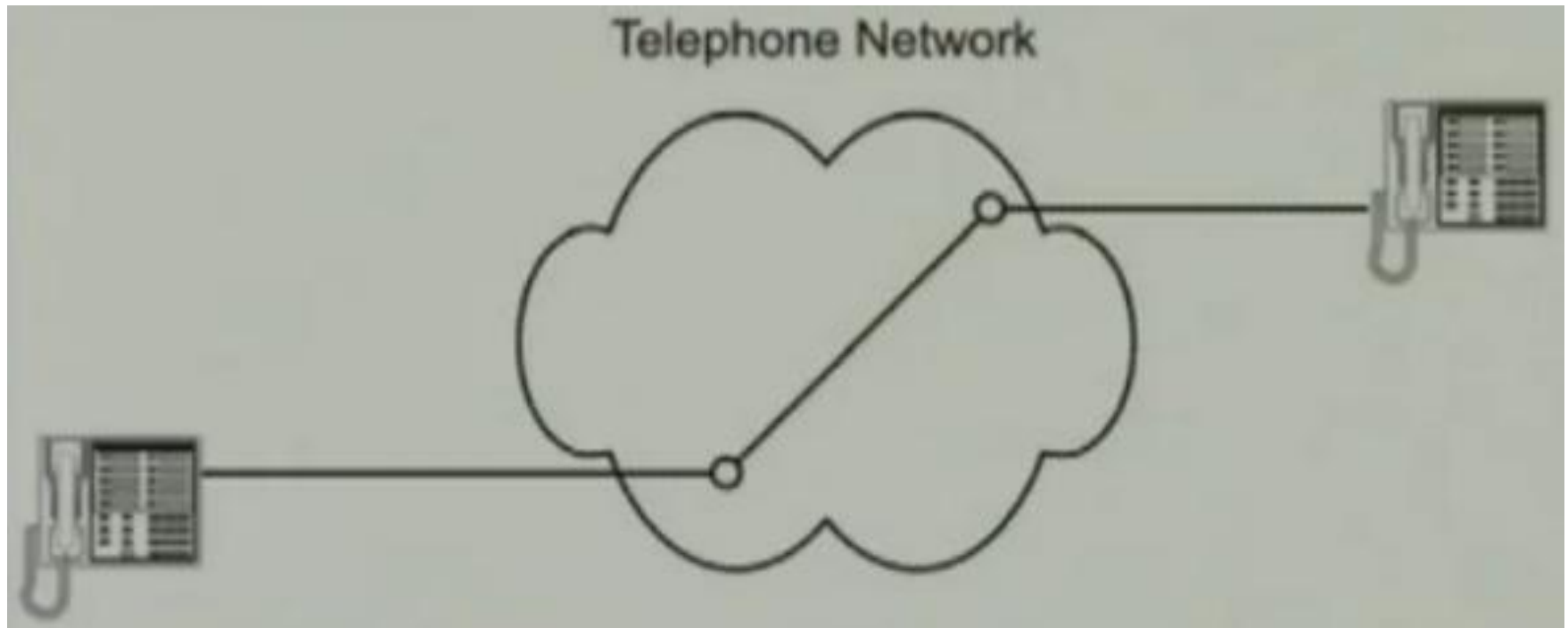
## *Analog switched service*

- Хэрэглэгчийн төхөөрөмж телефон сүлжээнд мушгиа хос утсаар /local loop/ холбогдоно.
- Мушгиа хос утсан /local loop/ дахь зурвасын өргөн 0 – 4000Гц байна.
- Хэрэглэгчээс хэрэглэгч рүү холбогдсон үед дуудлага хийгдэж өгөгдөл солилцоно.
- Public Switched Telephone Network (PSTN) Нийтийн телефон сүлжээнд холбогдоно.



## *Analog leased service*

- Хэрэглэгч хооронд холболт тогтоох шаардлага байхгүй.

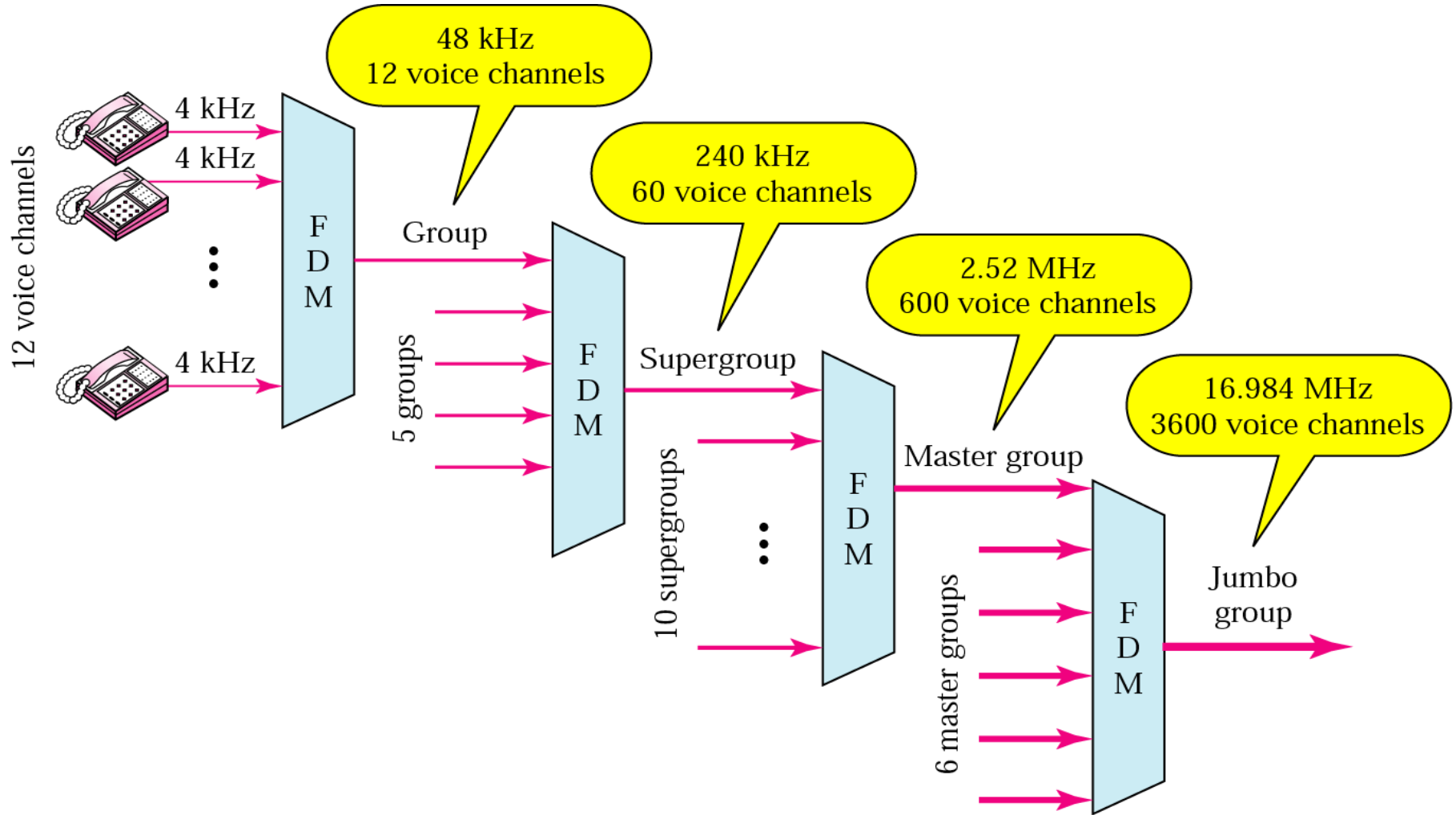


## *Аналог шатлал*

---

- Шугамыг үр дүнтэй ашиглахын тулд аналог дохионуудыг шатлалтайгаар нягтруулна.
- FDM нь хэд хэдэн шугамыг шаталсан байдлаар нэгтгэнэ.
- Шаталсан систем нь групп, супер групп, мастер групп, жамбо групп гэж ангилагдана.

# Analog carrier system



## *Телефон холбооны тоон үйлчилгээний давуу тал*

---

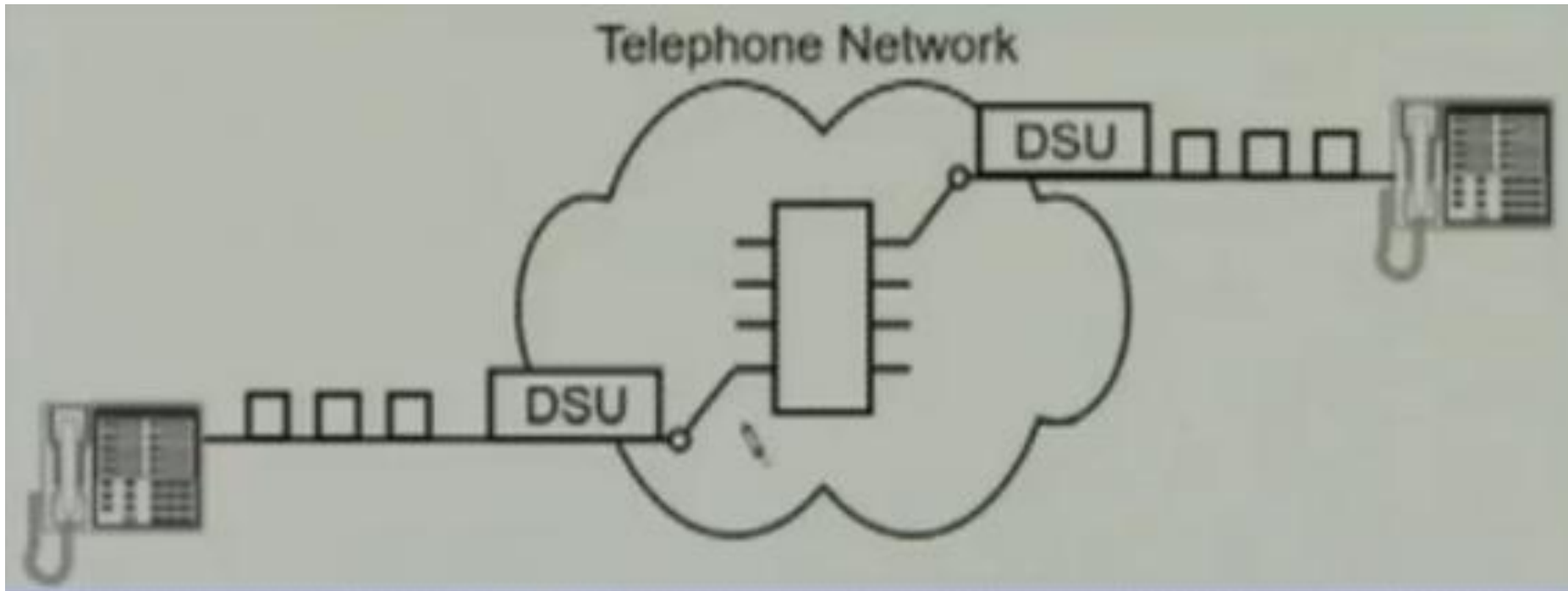
- Тоон үйлчилгээ нь шуугиан болон бусад нөлөөлөлд өртөх нь бага.
- Тоон IC-ийг ашигласнаар төхөөрөмжүүдийн өртөг буурсан.
- Регенераторын давтагч ашигласнаар чадал ашиглалтыг нэмэгдүүлсэн.
- Аналог нягтруулгатай харьцуулахад илүү уян хатан болсон.
- Тоон нягтруулга нь тоон өгөгдөл, телевиз, видео утас зэргийг цуг нягтруулж чаддаг болсон

## Телефон холбооны тоон үйлчилгээний ангилал:

- Switched/56
- Digital Data Service (DDS)
- Digital Signal (DS) Service

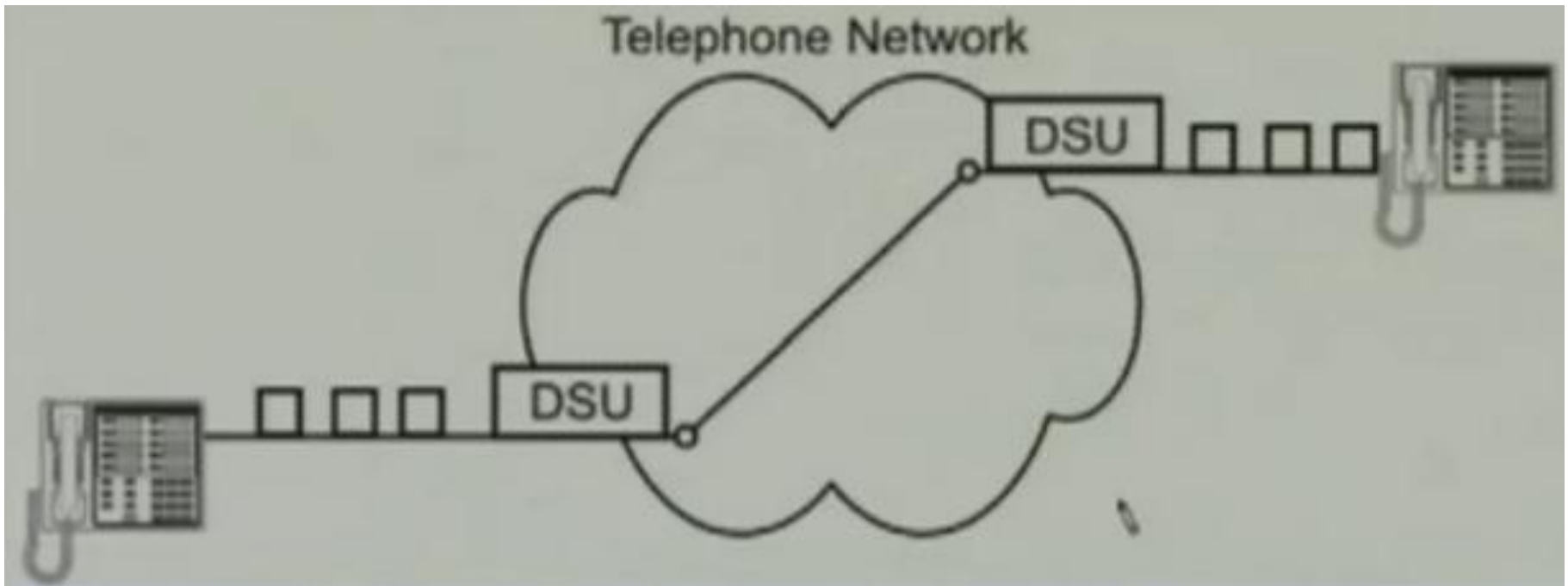
## *Switched/56 тоон үйлчилгээ*

- Analog switched шугамын тоон хувилбар
- 56Kbps хүртэлх хурдтай өгөгдлийн дамжуулна.

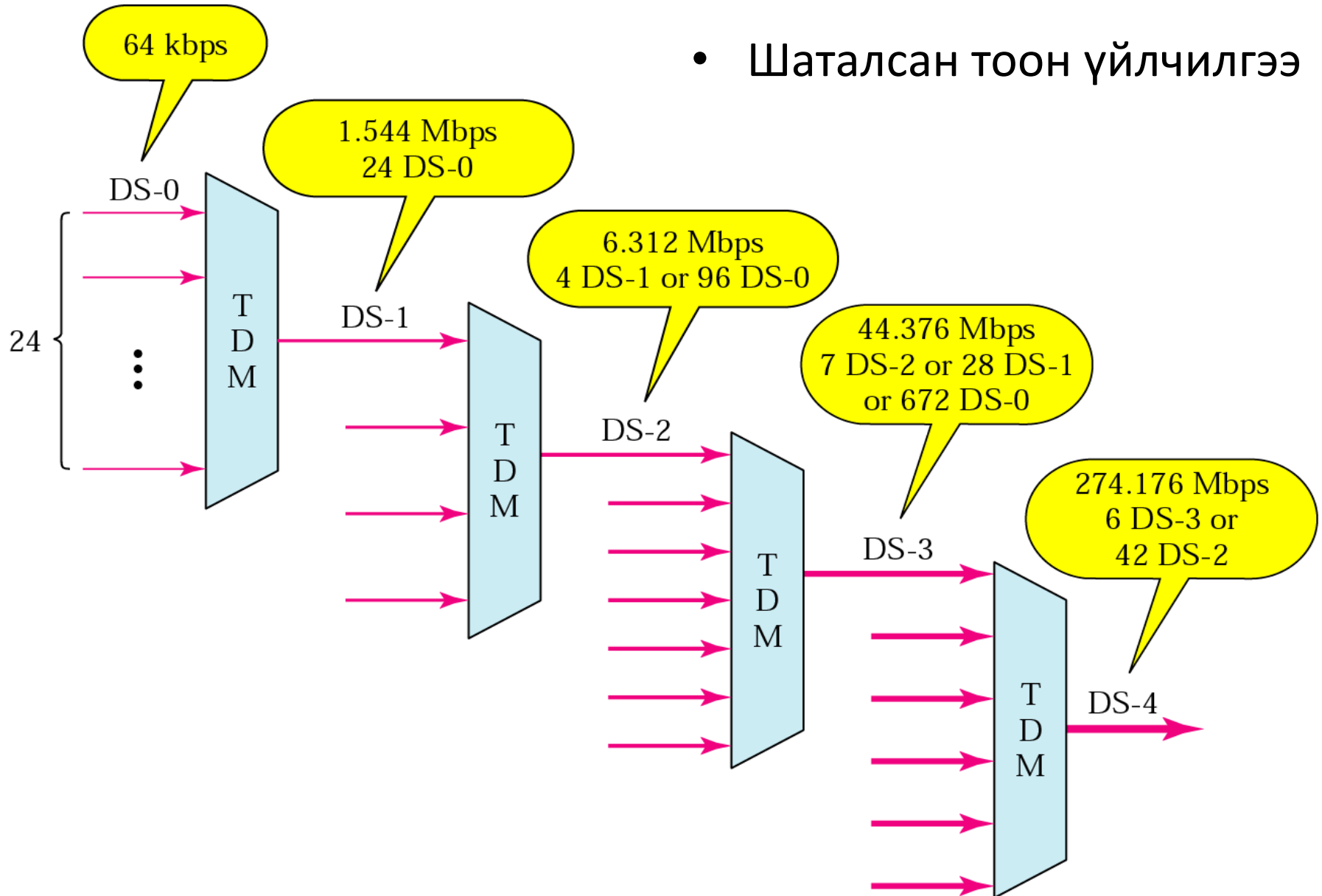


## Digital Data Service (DDS)

- Analog leased шугамын тоон хувилбар
- 56Kbps хүртэлх хурдтай өгөгдлийг сонголттойгоор дамжуулна : 2.4, 4.8, 9.6, 19.2, 56Kbps



# Digital Signal (DS) Service



- Шаталсан тоон үйлчилгээ

# Тоон нягтруулгын үе дэх дамжих сувгийн зурвасын өргөн болон бит хурд

AT&T системийн 4-дахь түвшин дахь **бит хурд**

$$r = 274,416 \text{ Mb/sec}$$

мөн дамжуулах сувгийн **зурвасын өргөн**  $B \geq \frac{r}{2}$

$$B \geq \frac{274,416}{2} \text{ гэдгээс}$$

$$B \geq 137 \text{ Mb/sec}$$

Иймээс 4032 сувагтай PCM дохионы нягтруулгын зурвасын өргөн нь 137 Mb/sec-ээс их байх шаардлагатай.

Нягтруулгын зурвасын өргөний **үр ашиг** дараах харьцаагаар тодорхойлогдоно.

$$\text{Bandwidth efficiency} = \frac{\text{Number of voice signals} * \text{bandwidth of each signal}}{\text{bandwidth of the multiplexing}};$$

$$\text{Зурвасын өргөний үр ашиг} = \frac{4032 * 4 \text{ kHz}}{137 \text{ kHz}} = 11,77\%$$

PAM-TDM сувгийн **хамгийн бага дамжууллын зурвасын өргөн**

$$B = 1/2 * (\text{signal rate})$$

$$\text{Мөн } B \geq 1/2 * 2NF_m$$

$$\text{эндээс } B = NF_m$$

N-сувгийн тоо

$F_m$  -суваг бүрийн зурвасын өргөн

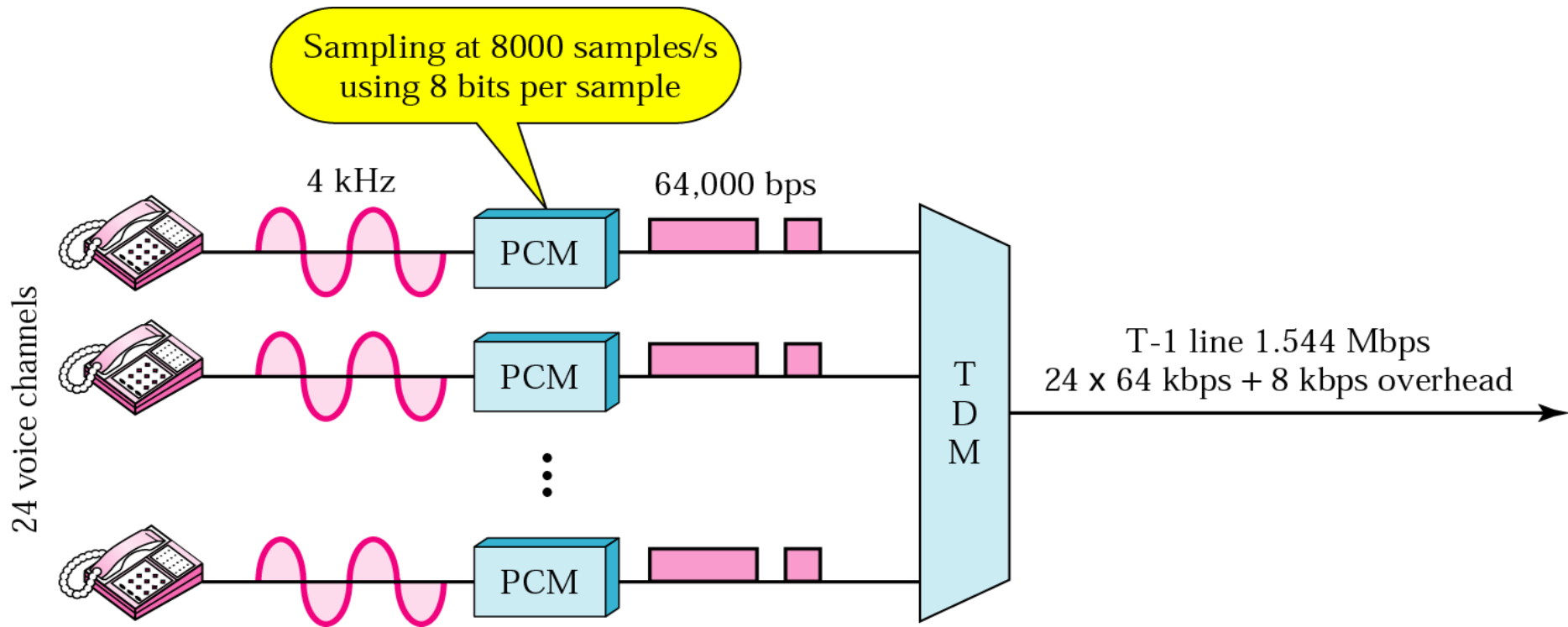
## *T шугам*

T-шугам нь тоон шугам юм. Энэ нь тоон өгөгдлийг (аудио, видео, дуу) дамжуулахаар зохиогдсон гэвч зарим тохиолдолд аналог холбоонд ашиглагдаж болдог. Харин T1 шугам нь телефон сүлжээнд хэрэглэгдэнэ. T-1, T-2, T-3 гэсэн шугамнууд DS0, DS1, DS2 гэсэн үйлчилгээг ашигладаг. Доорхи хүснэгтэд T1-д шугамын бит хурд, түүнд тохирох үйлчилгээг харуулав.

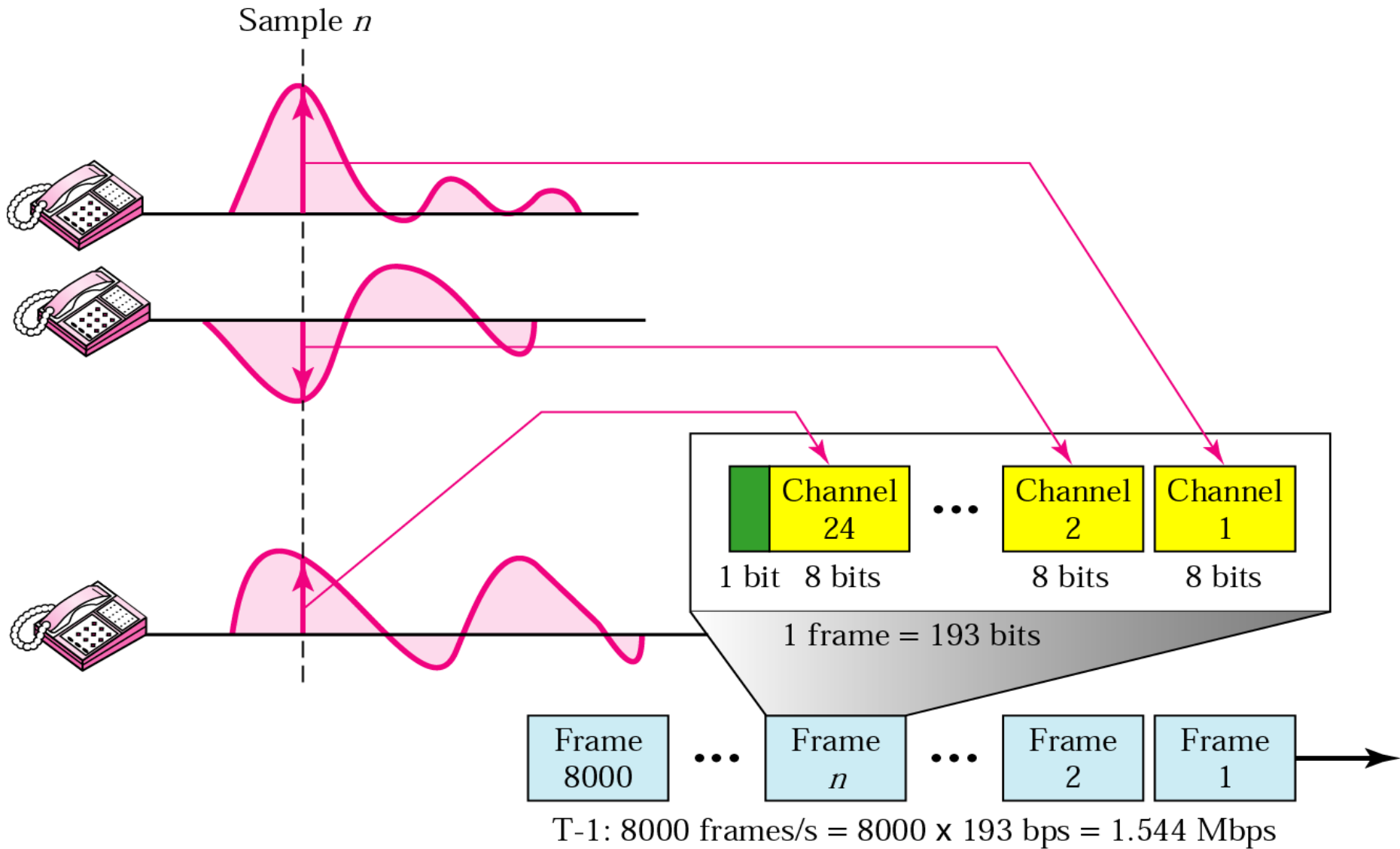
### *Хүснэгт DS ба T шугам*

<b>Service</b>	<b>Line</b>	<b>Rate (Mbps)</b>	<b>Voice Channels</b>
<b>DS-1</b>	<b>T-1</b>	<b>1.544</b>	<b>24</b>
<b>DS-2</b>	<b>T-2</b>	<b>6.312</b>	<b>96</b>
<b>DS-3</b>	<b>T-3</b>	<b>44.736</b>	<b>672</b>
<b>DS-4</b>	<b>T-4</b>	<b>274.176</b>	<b>4032</b>

# Телефон шугамыг T-1 сувгаар нягтруулах



# T-1 фреймийн бүтэц



# T1 зөөгч системийн хувьд

## Бит хурд

Бит хурд гэдэг нь 1сек-д дамжигдах битийн тоо юм.

T1-зөөгч системд, дохио бүр 1сек-д 8000-н удаа дискретчлэл хийгддэг. Тиймээс 1фрейм (коммутаторын 1цикл)=1/8000=125сек мөн 1фрейм 193 битээс тогтоно. Иймд 193бит нь 125 сек хугацаанд дамжина.

$$1\text{сек дахь битийн тоо} = 193/125 \times 10^{-6} = 1,544 \times 10^6$$

Иймээс T1-зөөгч системийн бит хурд 1,544Mbit/сек

## T1- зөөгч системийн зурвасын өргөн

- Хамгийн бага зурвасын өргөн

$$B = 1/2(\text{бит хурд}) = 1/2(1,544 \times 10^6) = 772\text{kHz}$$

- 193бит=125 сек гэдгээс 1бит=(125/193бит)=0,647 сек

## *E шугам*

Европын холбооны улс T-line-ийг E line гэж нэрлэн хэрэглэдэг T-шугам болон E-шугамтай ерөнхийдөө адил боловч тэдний багтаамж, дууны дохионууд өөр өөр байдаг.

### *Хүснэгт E шугам*

<b>E Line</b>	<b>Rate (Mbps)</b>	<b>Voice Channels</b>
<b>E-1</b>	<b>2.048</b>	<b>30</b>
<b>E-2</b>	<b>8.448</b>	<b>120</b>
<b>E-3</b>	<b>34.368</b>	<b>480</b>
<b>E-4</b>	<b>139.264</b>	<b>1920</b>

Анхаарал тавьсанд баярлалаа.