

Дамжууллын гэмтэл ба Сувгийн багтаамж

Оюутан юу эзэмших вэ:

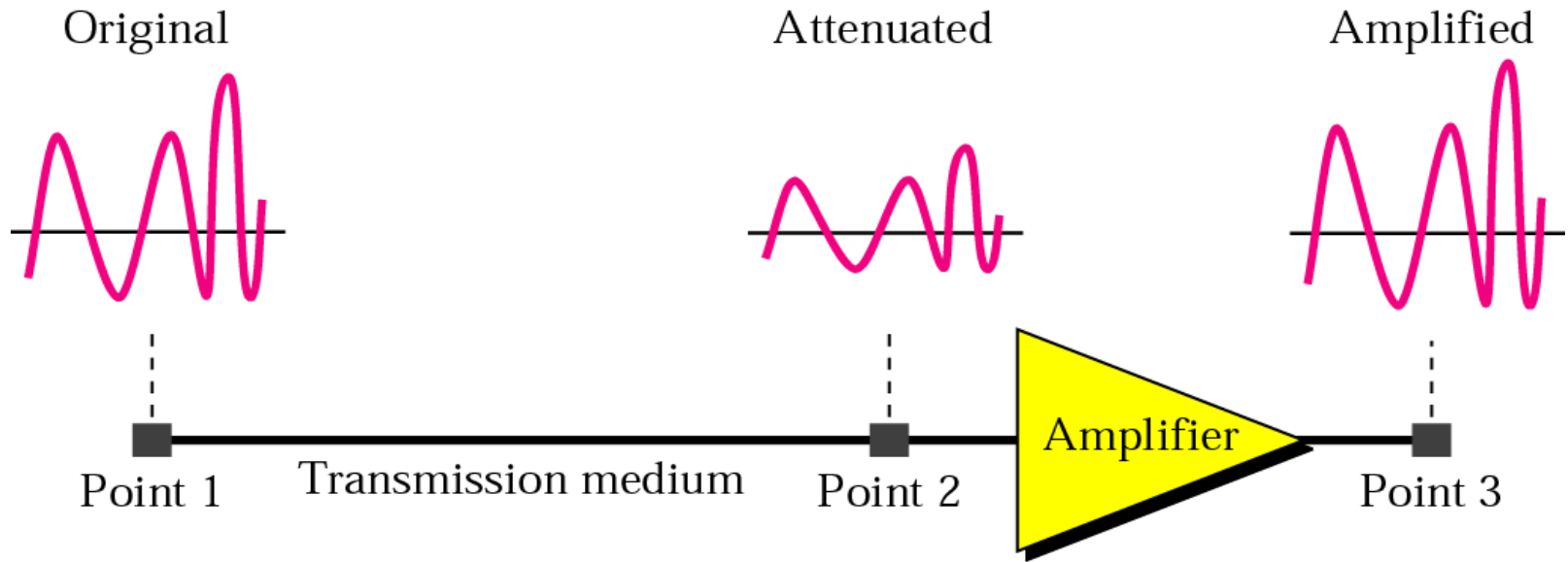
- Дамжууллын гэмтэл үүсгүүр гэж юу болохыг тодорхойлох
- Унтралтыг тайлбарлах, тооцоолол хийх
- Дохионы гажуудлыг тайлбарлах
- Өгөгдлийн хурд буюу Найквистийн тооцоолол хийх
- Bit rate, Baud rate-ийн хамаарлыг тайлбарлах
- Шуугиан гэж юу болохыг тайлбарлах
- Шуугиант шугамын тооцоолол буюу Шанноны тооцоолол хийх

Дамжууллын гэмтэл

- Өгөгдөл дамжуулна гэдэг нь бид дамжуулах орчноор дохио дамжуулна гэсэн үг.
- Дамжуулах орчин гэдэг бол туйлын зүйл биш. Дохио ямар нэгэн байдлаар гэмтэж гажууддаг.
- Дамжууллын гэмтэл:
 - Унтралт – Attenuation
 - Гажуудал – Distortion
 - Шуугиан – Noise

Унтралт

- Унтралт гэдэг нь дохионы энергийн алдагдал dB(децибел)-ээр хэмжигдэнэ.
- Унтралт нь дохио өсгөгдөхгүйгээр хэр хол дамжих чадварыг тодорхойлно.

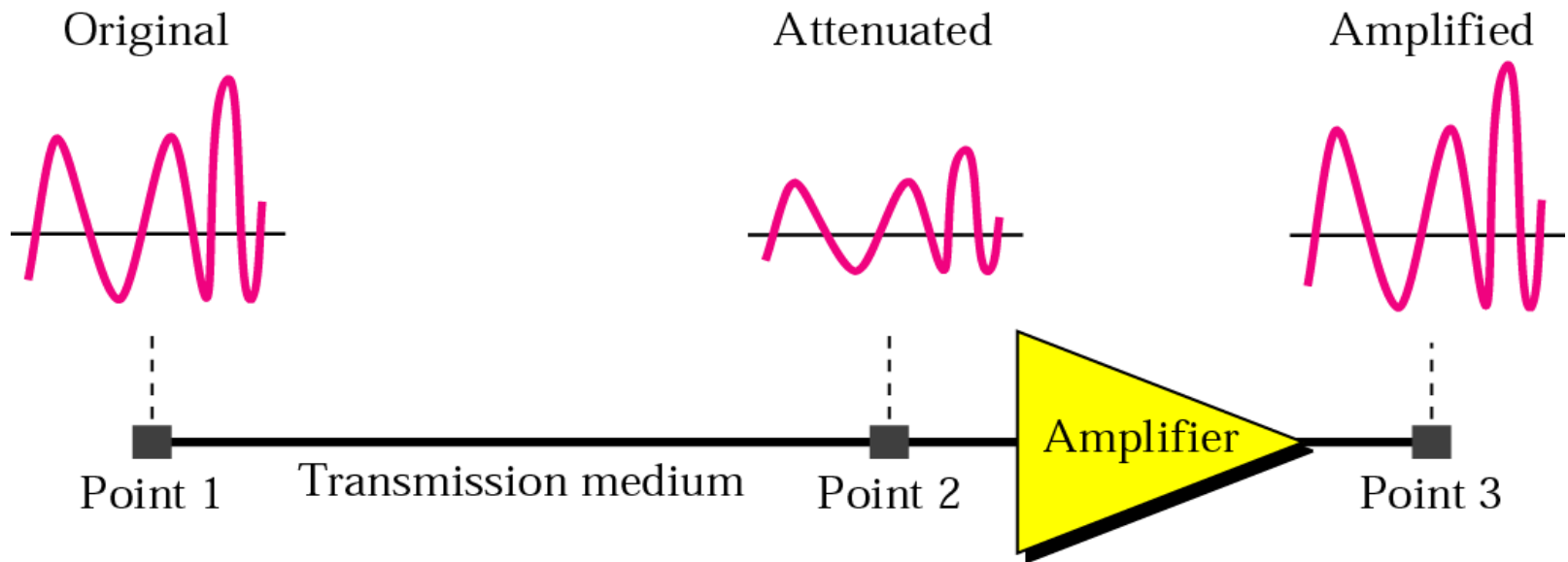


- Дохионы унтралтыг өсгүүрээр нөхөн сэргээнэ.

Децибел

- Децибел (dB) гэдэг нь дохионы хоёр цэг дээрх чадлын хамаарал. Хэрэв дохионы чадал 1 цэг дээр P_1 , 2 цэг дээр P_2 гэвэл хоёр цэг дээрх чадлын хамаарал нь:

$$dB = 10 \log_{10}(P_2/P_1)$$



Унтралтыг тооцоолох

Жишээ 1

- Дохио орчноор дамжихдаа чадал нь хоёр дахин багассан гэвэл унтралтыг тооцоол.

$$\begin{aligned}10 \log_{10} (P_2/P_1) &= 10 \log_{10} (0.5P_2/P_1) = \\ &= 10 \log_{10} (0.5) = 10(-0.3) = -3 \text{ dB}\end{aligned}$$

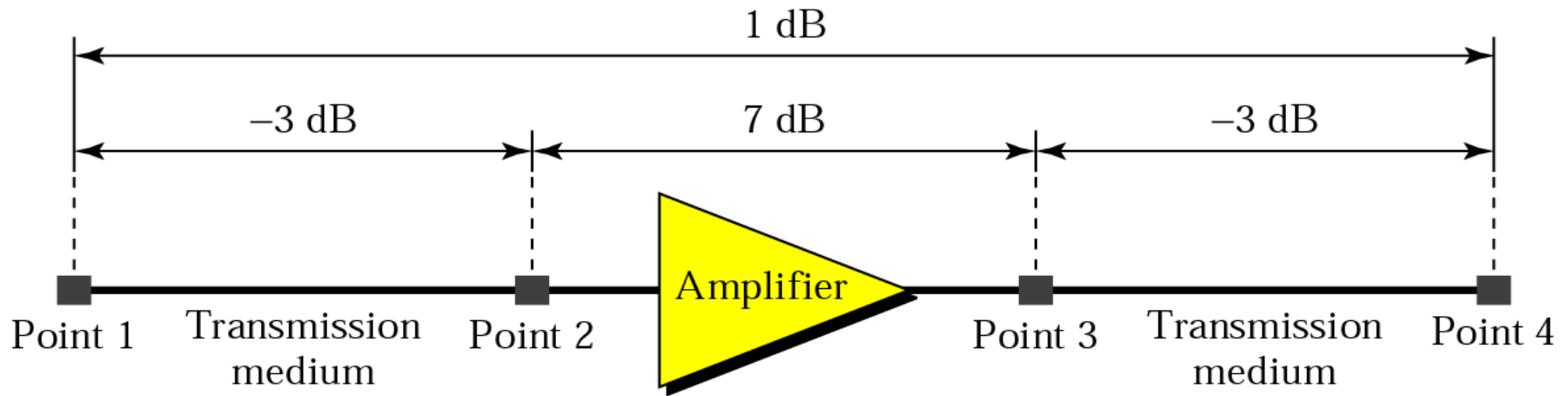
Чадлын алдагдалд унтралт сөрөг утга авна.

- Дохио орчноор дамжихдаа хүчдэл нь 100 дахин өссөн гэвэл:

$$20 \log_{10} (V_2/V_1) = 20 \log_{10} (100/1) = 40 \text{ dB}$$

Хүчдэлийн өсөлтөнд унтралт эерэг утга авна.

Унтралтыг тооцоолох



$$\text{dB} = -3 + 7 - 3 = +1$$

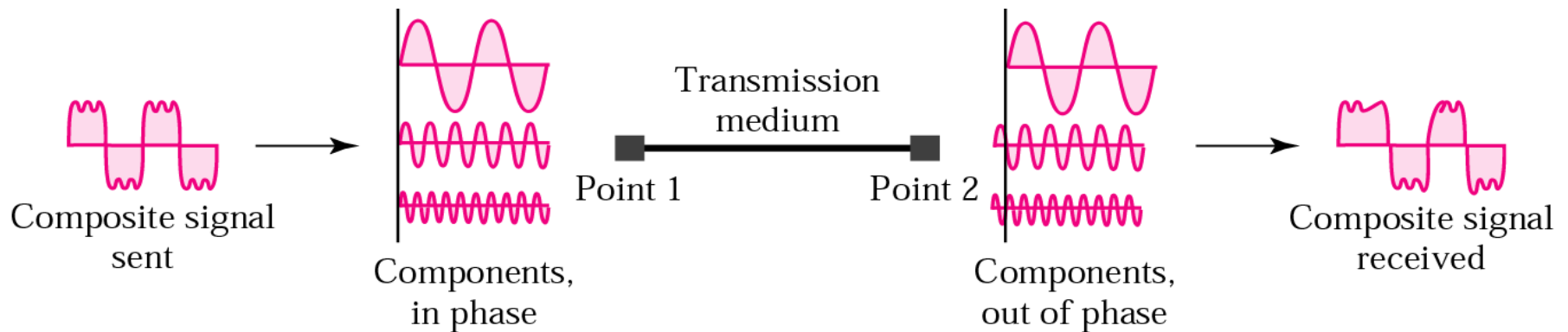
Гажуудал

- Дохио хэлбэрээ алдсанаар гажуудал үүснэ.
 - Унтралаас үүсэх гажуудал
 - Тасалдлаас үүсэх гажуудал
- Давтамжууд дээрх унтралтын нөлөө нь дохионд харилцан адилгүй нөлөөлнө.
 - Зарим давтамж унтралтгүйгээр дамжуулна
 - Зарим давтамж дохионы хүчийг сулруулна
 - Зарим давтамж блоклогдоно



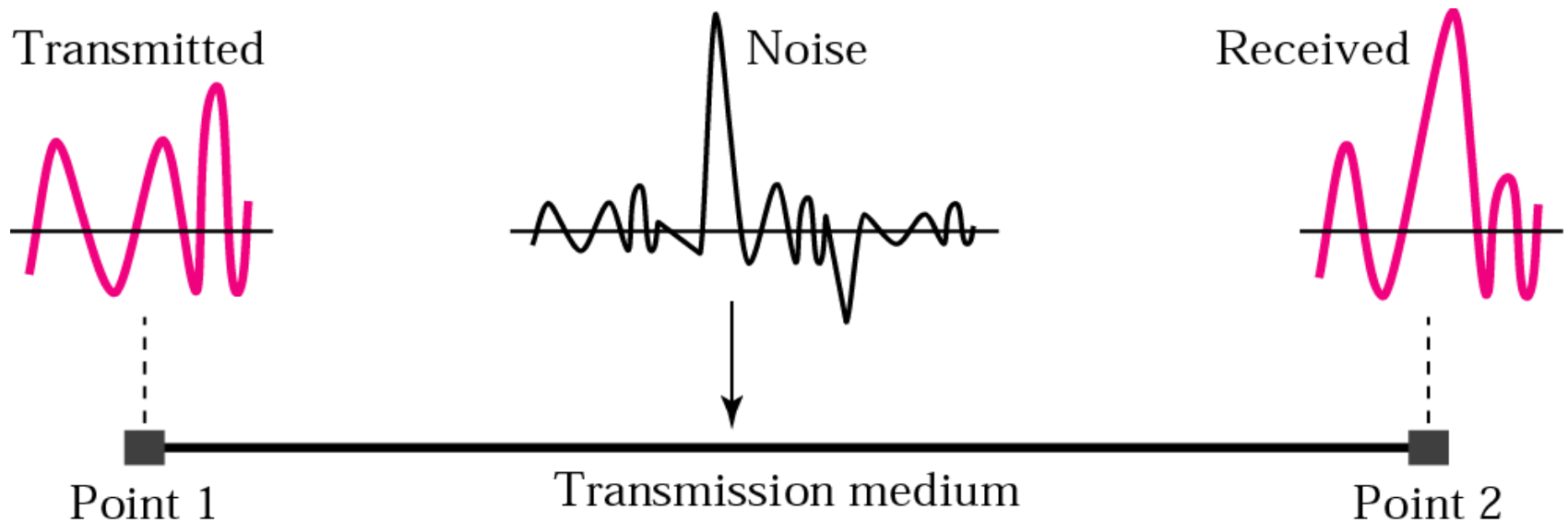
Гажуудал

- Нийлмэл дохио нь ялгаатай олон давтамж бүхий дохионуудад задарна.
- Дохио бүр өөрийн тархалтын хурдаар орчноор дамжина.
- Саатал үүссэнээр дохио фазын шилжилттэй хүлээн авагдана.



Шуугиан

- Шуугиантай дамжуулах орчноор дамжигдаж байгаа дохионы түвшин ихэснэ эсвэл багасна.
- Дохио шуугианд өртсөнөөр дохионы түвшингийн тоо мөн нэмэгдэнэ.



Дохио шуугианы харьцаа - SNR

- Орчноор дамжих хэрэгтэй зүйл (дохио), хэрэггүй зүйл (шуугиан)-ийн харилцан хамаарал
- SNR нь их байвал дохионы гэмтэл бага
- SNR нь бага байвал дохионы гэмтэл их
- Өгөгдөл дамжих сувгийн багтаамжийг тооцоолоход дохио шуугианы харьцааг тооцох хэрэгтэй

$$\text{SNR} = \frac{\text{average signal power (P)}}{\text{average noise power (N)}}$$

- Дохио шуугианы харьцааг dB-ээр тооцоолох:

$$\text{SNR}_{\text{dB}} = 10\text{Log}_{10}\text{SNR}$$

Шуугиан үүсэх шалтгаан

- Энерги буюу электроны урсгалаас
- Орчноор өөр давтамжтай дохионууд зэрэг дамжсанаар дохио гэмтэхэд
- Сүлжээн дэх төхөөрөмжөөс шалтгаалах
- CrossTalk – Утаснуудын хоорондох нөлөөлөл буюу хоёр орчны нөлөөллөөс

Өгөгдлийн хурдны хязгаар

- Өгөгдөл ямар боломжит ямар хурдаар дамжих вэ?
Үндсэн 3 хүчин зүйлээс хамаарна:
 - Сувгийн зурвасын өргөн
 - Дохионы түвшин
 - Шуугианы түвшин буюу сувгийн чанар
- Шугамаар дамжих өгөгдлийн хурдыг тооцоолох:
 - Найквистийн тооцоолол (Nyquist Bit Rate Formula)
 - Шанноны тооцоолол (Shannon Capacity)

Найквистийн тооцоолол

- (Шуугиангүй шугамын тооцоолол)

Шуугиангүй шугамаар дамжих өгөгдлийн хурдыг Найквистийн тооцооллоор бодно.

$$C = 2 * B * \log_2 L$$

C – Bit Rate буюу сувгаар дамжих өгөгдлийн хурд

B – зурвасын өргөнш, L – сигналын түвшингийн тоо

Жишээ

Телефон шугамын зурвасын өргөн $B = 4\text{kHz}$. Шугам шуугиангүй, 128 түвшинт сигнал дамжсан гэвэл шугамаар дамжих өгөгдлийн хурдыг тооцоолбол:

Шуугиангүй шугам учир Найквистийн тооцооллоор:

$$C = 2 \times B \times \log_2 L = 56 \text{ Kbps}$$

Шанноны тооцоолол

- (Шуугиантай шугамын тооцоолол - 1944)
Шуугиантай шугамаар дамжих өгөгдлийн хурдыг Шанноны тооцооллоор бодно.

$$C = B * \text{Log}_2(1+\text{SNR})$$

SNR – Дохио шуугианы харьцаа

Жишээ

Сигнал шуугианы харьцаа 0 бол сувгийн багтаамжийг тодорхойл.

Шанноны тооцооллоор:

$$\begin{aligned}C &= B \log_2 (1 + \text{SNR}) = B \log_2 (1 + 0) \\ &= B \log_2 (1) = B \times 0 = 0\end{aligned}$$

Дүгнэлт:

SNR=0 үед шуугиан маш их, дохио унтралттай байна гэсэн үг.

Жишээ

Телефон шугамаар дамжих өгөгдлийн хурдыг тооцоол. Шугамын зурвасын өргөн 3000гц (300гц-3300гц), дохио шуугианы харьцаа 3162.

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 3000 \log_2 (1 + 3162) = 3000 \log_2 (3163)$$

$$C = 3000 \times 11.62 = 34,860 \text{ bps}$$

Жишээ

Телефон шугамын зурвасын өргөн 4кГц, дохио шуугианы харьцаа 20dB гэвэл шугамын өгөгдлийн хурдыг тодорхойл.

$$\begin{aligned} C &= B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 4 \times 10^3 \times \log_2 (1 + 100) \\ &= 4 \times 10^3 \log_2 (101) = 26,6 \text{ kbps} \end{aligned}$$

Жишээ

Тоон дохионы өгөгдлийн хурд 20kHz зурвасын өргөнд 160kbps.
Дохионы түвшин болон дохио шуугианы харьцааг тооцоол.

Найквистийн тооцооллоор дохионы түвшинг тооцоолбол:

$$C = 2B \times \log_2 M = 2 \times 20 \times 10^3 \log_2 M \Rightarrow M=16$$

Шанноны тооцооллоор дохио шуугианы харьцааг тооцоолбол:

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 20 \text{kHz} \log_2 (1 + \text{SNR}) \Rightarrow \text{SNR}=255$$

Жишээ

Зурвасын өргөн 1МГц. Энэ сувгийн дохио шуугианы харьцаа 63; шугамаар дамжих өгөгдлийн хурд болон сигналын түвшинг ол.

Шанноны тооцооллоор:

$$C = B \log_2 (1 + \text{SNR}) = 10^6 \log_2 (1 + 63) = 10^6 \log_2 (64) = 6 \text{ Mbps}$$

Найквистийн тооцооллоор:

$$4 \text{ Mbps} = 2 \times 1 \text{ MHz} \times \log_2 L \rightarrow L = 4$$

Дүгнэлт:

Шанноны тооцоолол: Өгөгдөл дамжих сувгийн багтаамжийг тодорхойлно.

Найквистийн тооцоолол: Хэдэн түвшинт дохио дамжихыг тодорхойлно.

Сувгийн тооцооллын хэмжигдэхүүн

Зурвасын өргөн:

- Давтамжийн хязгаар (Hz)
Нийлмэл дохионы давтамжийн хязгаар буюу тухайн сувгаар дамжих дохионы давтамжийн хязгаар
- Сувгаар дамжих битийн тоо (bps)
Тухайн сувгаар дамжих битийн хурд

Throughput:

Сүлжээгээр дамжих өгөгдлийн хурдаар хэмжигдэнэ.

Жишээ Шугамаар дамжих өгөгдлийн хурд 10Mbps. Сүлжээ минутанд дунджаар 12000 фрейм дамжуулна. Фрейм 10000 битээс тогтох бол сүлжээний бүтээмж (throughput) ямар байх вэ?

$$\text{Throughput} = 12000 \times 10000 / 60 = 2\text{Mbps}$$

Зурвасын өргөн буюу Өгөгдлийн хурд:

Тухайн шугамаар дамжуулж болох өгөгдлийн хэмжээ

Throughput:

Тухайн шугамаар дамжуулж чадах өгөгдлийн хэмжээ

Сувгийн тооцооллын хэмжигдэхүүн

Latency (Delay):

Хүлээн авах төхөөрөмж өгөгдлийг хүлээн авахад зарцуулагдах нийт хугацаа

- Propagation time - Тархалтын хугацаа
- Transmission time - Дамжууллын хугацаа
- Queuing time - Дарааллын хугацаа
- Processing delay - Боловсруулалтын хугацаа

$$\text{Latency} = \text{Propagation time} + \text{Transmission time} + \text{Queuing time} + \text{Processing delay}$$

Сувгийн тооцооллын хэмжигдэхүүн

Propagation time:

Өгөгдлийн бит эх үүсгүүрээс, хүлээн авагч төхөөрөмжид хүрэхэд зарцуулагдах хугацаа

$$T_{\text{prop}} = \text{Distance} / \text{Propagation Speed}$$

Transmission time:

Өгөгдөл (мессеж) эх үүсгүүрээс, хүлээн авагч төхөөрөмжид хүрэхэд зарцуулагдах хугацаа

$$T_{\text{trans}} = \text{Message size} / \text{Bandwidth}$$

Сувгийн тооцооллын хэмжигдэхүүн

Жишээ:

1Gbps хурдтай шугамаар 2.5Kbyte мессежийг илгээсэн гэвэл тархалтын хугацаа ба дамжууллын хугацааг тооцоол. Төхөөрөмж хоорондын зай 12000км, өгөгдөл дамжуулах хурд $2.4 \times 10^8 \text{m/s}$.

Бодолт:

$$T_{\text{prop}} = 12 \times 10^6 / 2.4 \times 10^8 = 50 \text{ms}$$

$$T_{\text{trans}} = 2.5 \times 10^3 \times 8 / 10^9 = 20 \mu\text{s}$$

Сувгийн тооцооллын хэмжигдэхүүн

Queuing time:

Дундын төхөөрөмж болон төгсгөлийн төхөөрөмж мессежийг хүлээн авсны дараа боловсруулах хүртэлх хугацаа, сүлжээний ачааллаас хамаарна.

Processing time:

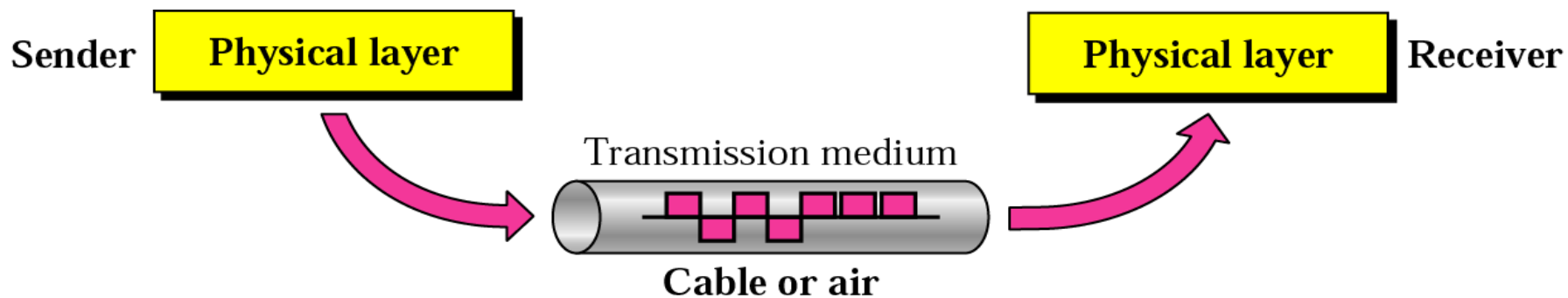
Өгөгдөл (мессеж)-д боловсруулалт хийхэд шаардагдах хугацаа, төхөөрөмжийн хурдаас хамаарна.

Дамжуулах орчин

Оюутан юу эзэмших вэ:

- Дамжуулах орчин, түүний ангилал
- Чиглэлтэй ба Чиглэлгүй орчны ялгаа
- Чиглэлтэй орчны шинж чанарыг тайлбарлах
 - Twisted-pair
 - Coaxial cable
 - Optical fiber
- Чиглэлгүй орчны шинж чанарыг тайлбарлах
 - Wireless transmission

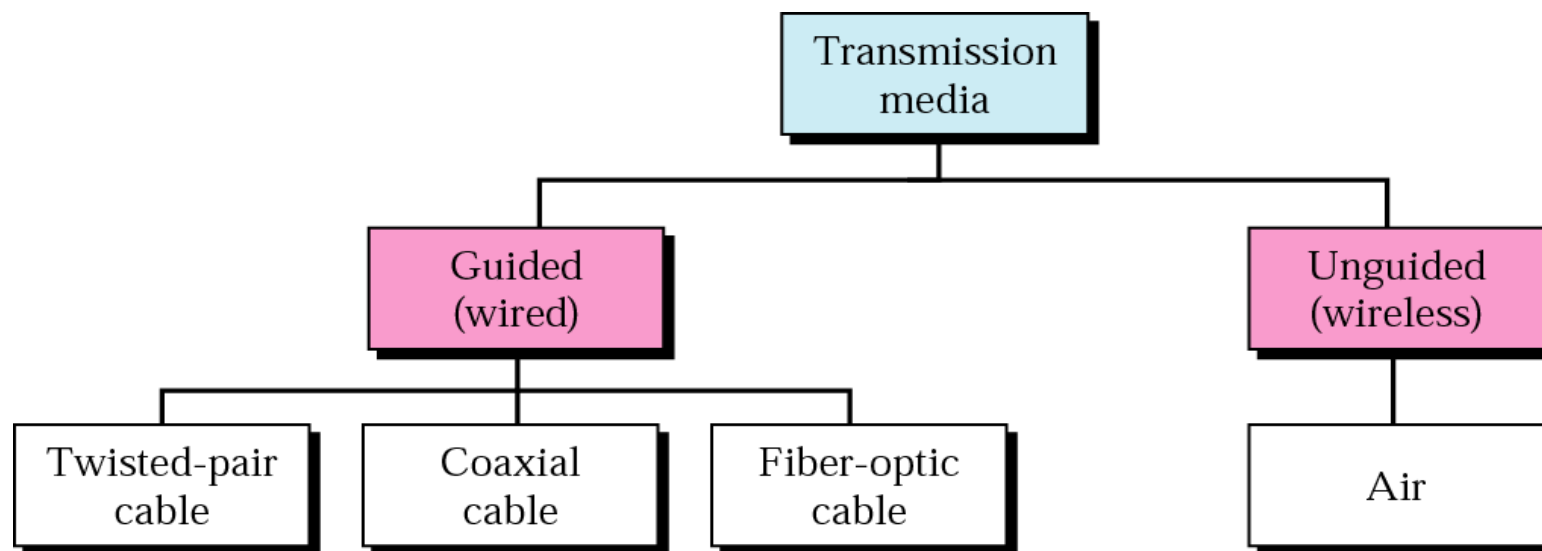
Дамжуулах орчин



- Өгөгдлийн холбооны систем дэх дамжуулагч, хүлээн авагч хоорондын физик зам

Transmission Media or Communication Media

Дамжуулах орчин, түүний ангилал

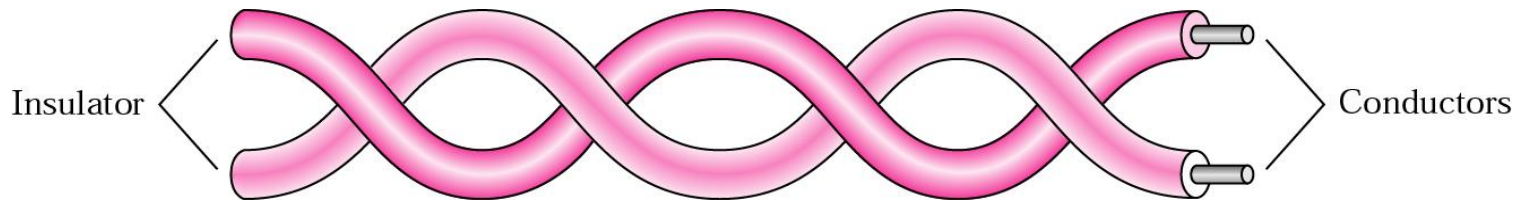


- Guided – Чиглэлтэй дамжуулах орчин
Дохио тодорхой чиглэлийн дагуу дамжина
- Unguided – Чиглэлгүй дамжуулах орчин
Цахилгаан соронзон долгион агаараар тодорхой чиглэлгүйгээр дамжина

Дамжууллын чанар

- Өгөгдөл дамжууллын чанар нь дамжуулах орчин ба дохионы характеристикээр тодорхойлогдоно.
 - Чиглэлтэй орчны хувьд: Дамжуулах орчин нь өгөгдөл дамжуулах хязгаарыг тодорхойлоход илүү чухал үүрэгтэй.
 - Чиглэлгүй орчны хувьд: Дамжуулах антеннаар дамжуулагдах дохионы зурвасын өргөн нь дамжуулах орчноос илүү чухал үүрэгтэй.

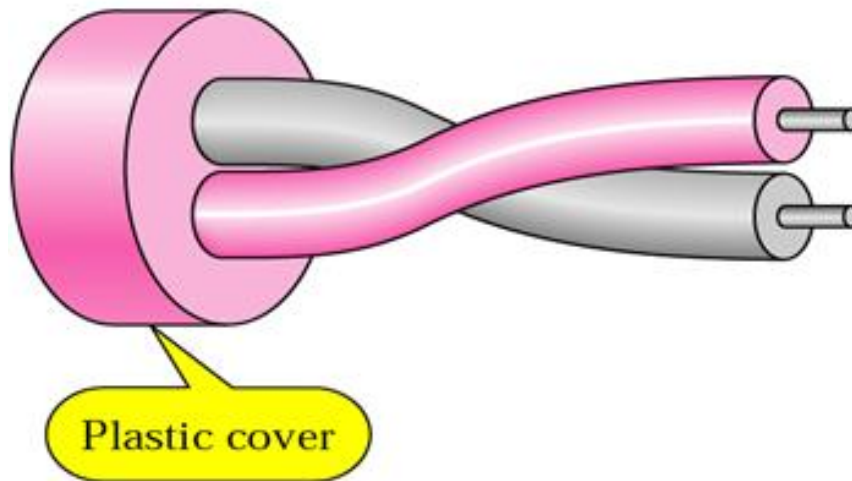
Чиглэлтэй орчин: Twisted pair



Тусгаарлагч бүрхүүлтэй, мушгиа хоёр зэс утаснаас бүтнэ.

Яагаад мушгиа вэ?

- Мушгих нь кроссток нөлөөллийг багасгана.
- Чанга эрчлэх нь дамжууллыг илүү сайн, найдвартай болгоно.



Twisted-pair кабелийн ангилал

Ангилал	Bandwidth	Data Rate	Digital/Analog	Хэрэглээ
Cat 1	very low	< 100 kbps	Analog	Telephone
Cat 2	< 2 MHz	2 Mbps	Analog/digital	T-1 lines
Cat 3	16 MHz	10 Mbps	Digital	LANs
Cat 4	20 MHz	20 Mbps	Digital	LANs
Cat 5	100 MHz	100 Mbps	Digital	LANs
Cat 6 (draft)	200 MHz	200 Mbps	Digital	LANs
Cat 7 (draft)	600 MHz	600 Mbps	Digital	LANs

Өргөн хэрэглэгддэг чиглэлтэй дамжуулах орчин:

Category 3: up to 16MHz → 3-4 twists per ft (30.48cm)

Category 5: up to 100MHz → 3-4 twists per inch (2.54 cm)

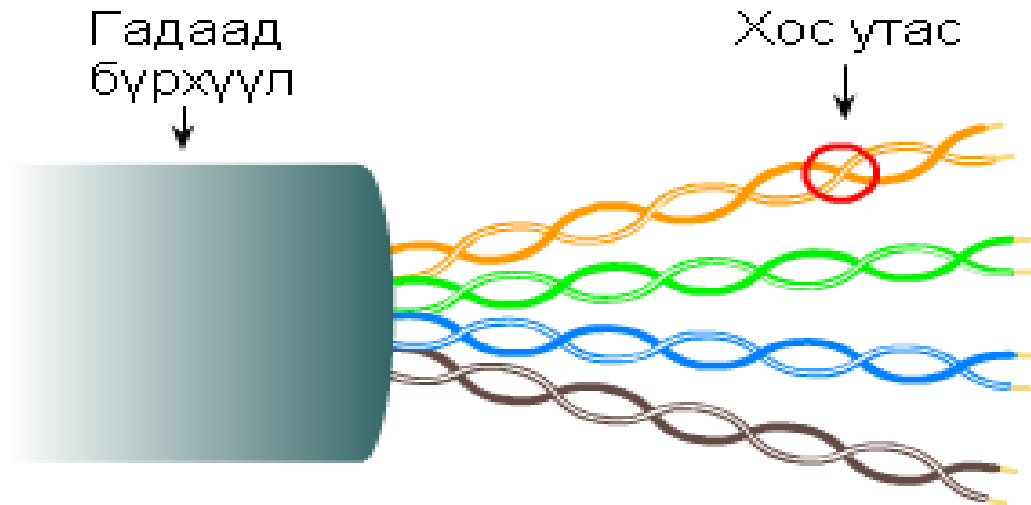
Чиглэлтэй орчин: Twisted pair

Мушгиа хос кабелийн ангилал:

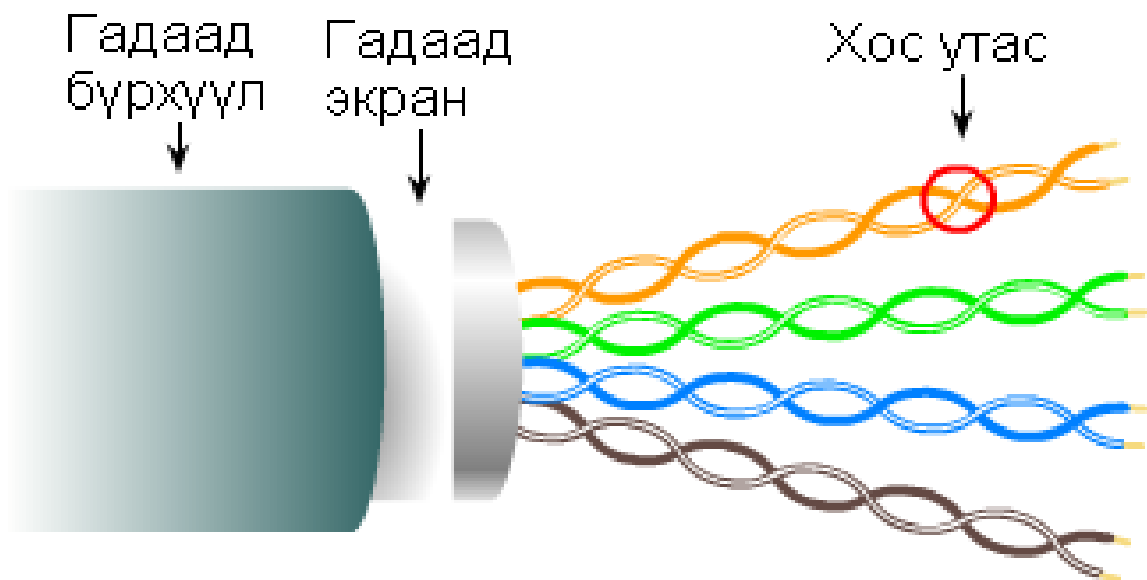
- Unshielded Twisted Pair (UTP)
 - Телефон сүлжээ
 - DSL (Digital Subscriber Line)
 - Local Area Network (10BaseT, 100BaseT)
- Shielded Twisted Pair (STP)

Чиглэлтэй орчин: Twisted pair

Экрангүй, хос ороолтот кабель (UTP)

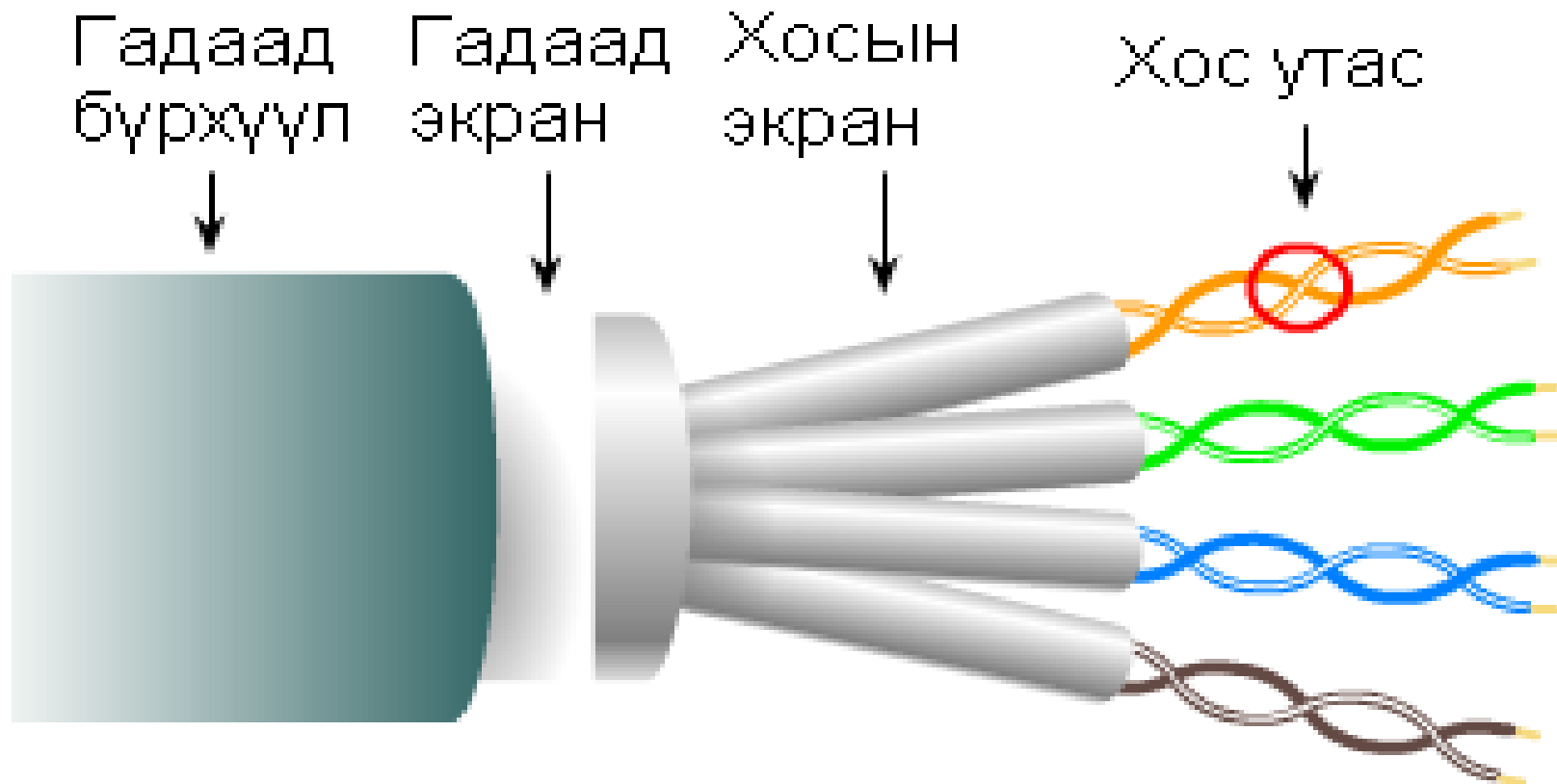


Экрантай хос ороолтот кабель (UTP - Unshielded twisted pair)

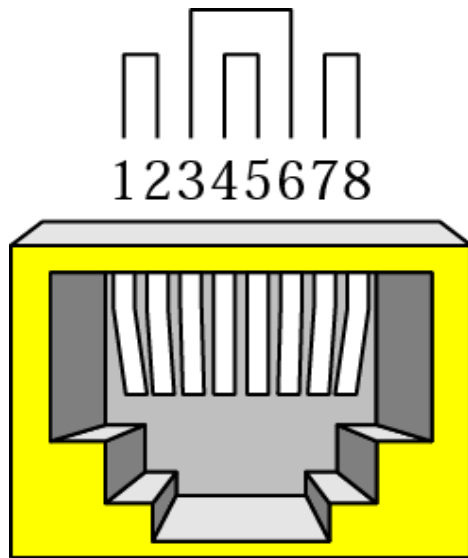


Чиглэлтэй орчин: Twisted pair

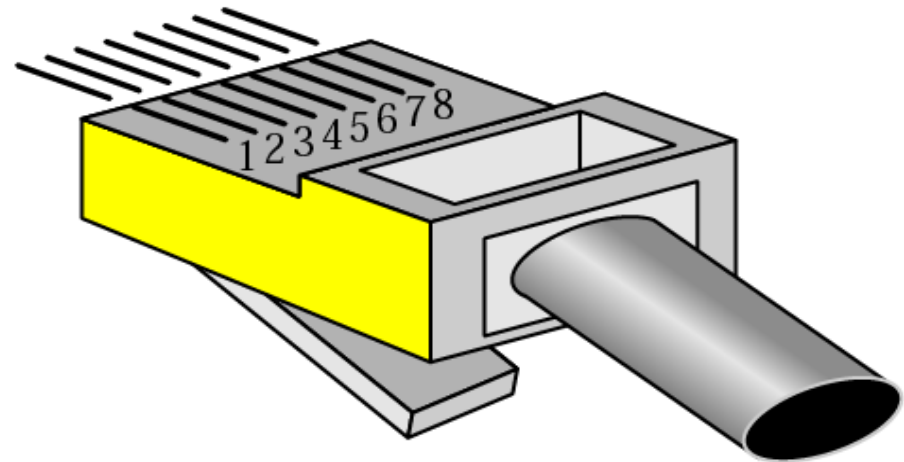
Экрантай хос ороолтот кабель (STP-shielded twisted pair)



UTP коннектор – RJ45 (8 lines)



RJ-45 Female

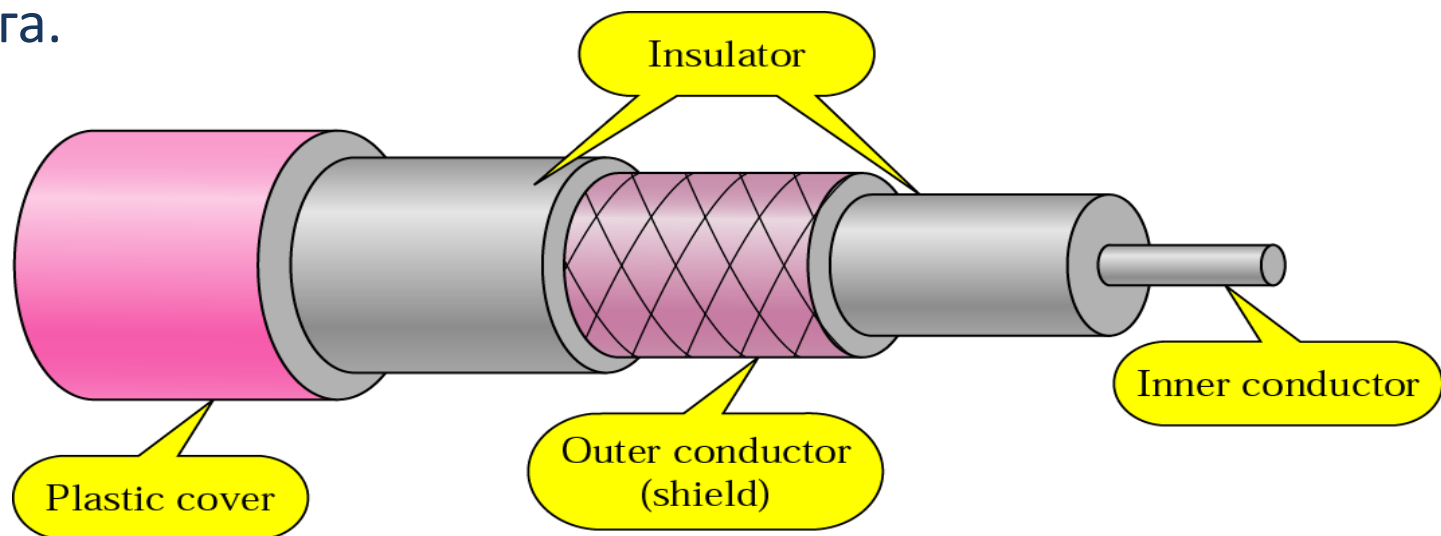


RJ-45 Male

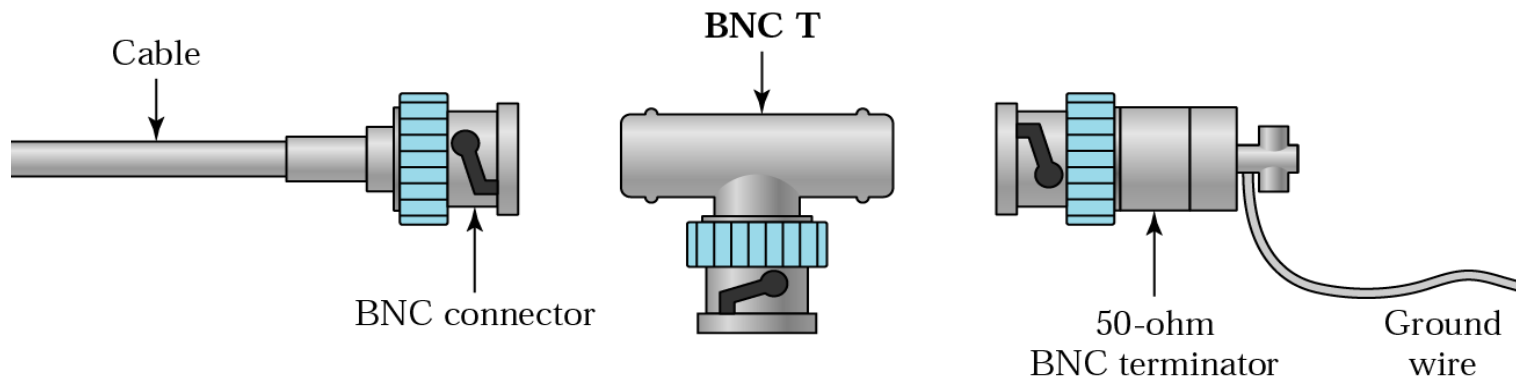
Чиглэлтэй орчин: Coaxial Cable

Соaxial cable нь дотор зэс утсан дамжуулагчийг гаднах цилиндр хэлбэр бүхий дамжуулагчаар бүрсэн бүтэцтэй байна.

- Соaxial cable нь мушгиа хос кабелийг бодвол кроссток нөлөөлөлд өртөх нь бага.



BNC коннектор



Coaxial cable-ийн хэрэглээ:

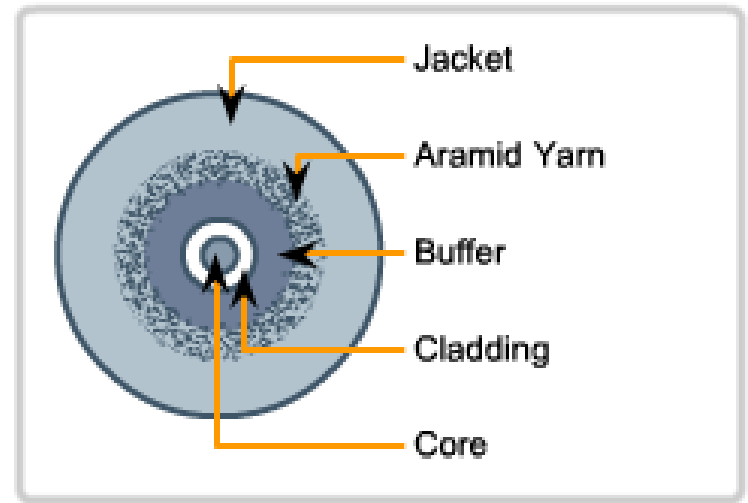
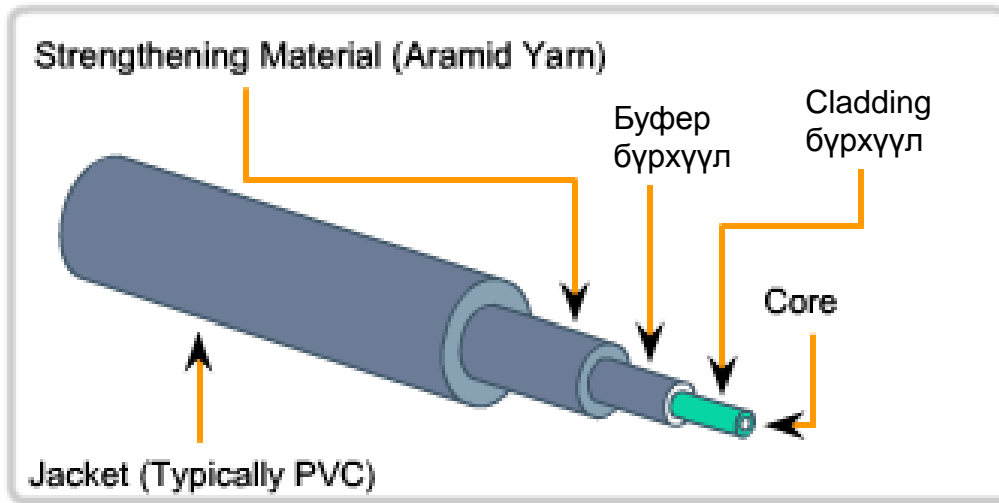
- Кабелийн телевиз
- Хол зайны телефон сүлжээний дамжуулалт
- Local Area Networks

Coaxial кабелийн ангилал

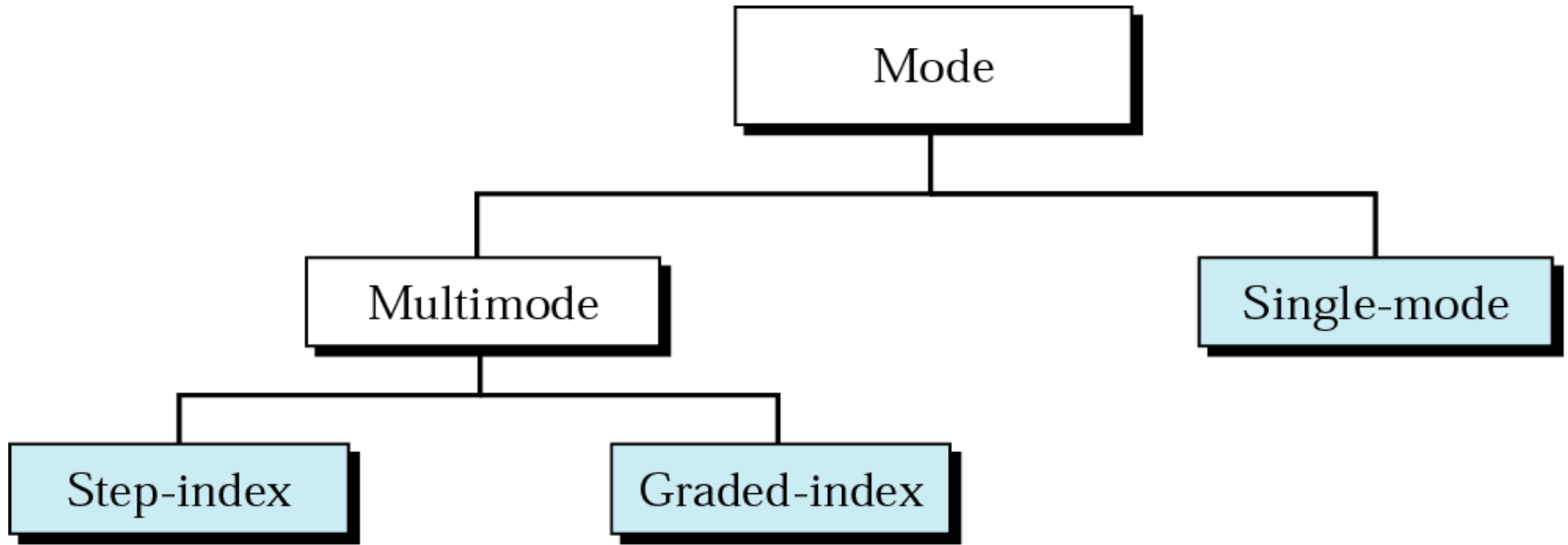
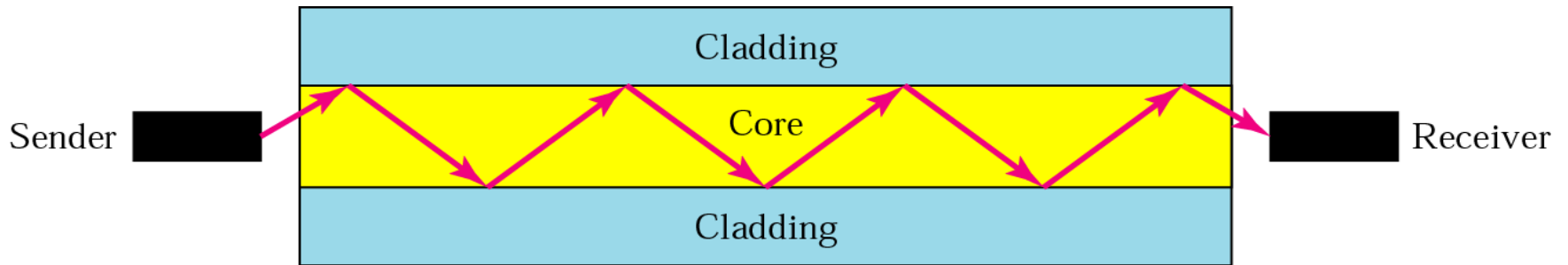
Ангилал	Эсэргүүцэл	Хэрэглээ
RG-59	75 Ω	Cable TV
RG-58	50 Ω	Thin Ethernet
RG-11	50 Ω	Thick Ethernet

Чиглэлтэй орчин: Optical Fiber

- Оптик кабель нь маш нарийн (2-125 микрометр), гэрлийн туяаг дамжуулах орчин
- Цөм нь шил эсвэл пластик материалаар хийгдэнэ
- Cladding бүрхүүл нь гэрэл ойлгодог материалаар хийгдэнэ

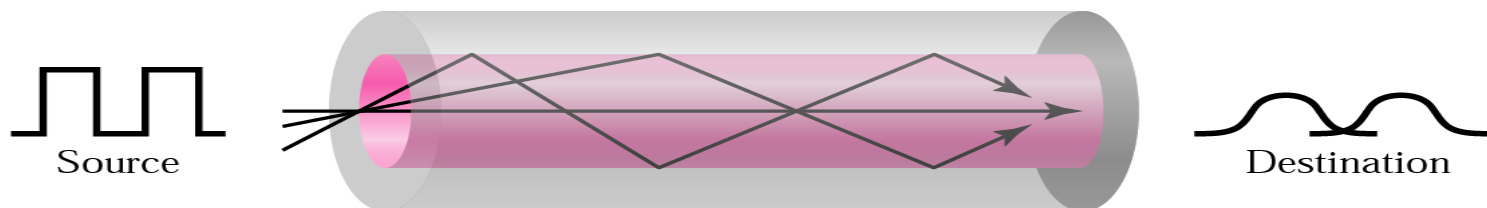


Шилэн кабель, тархалтын хэлбэр

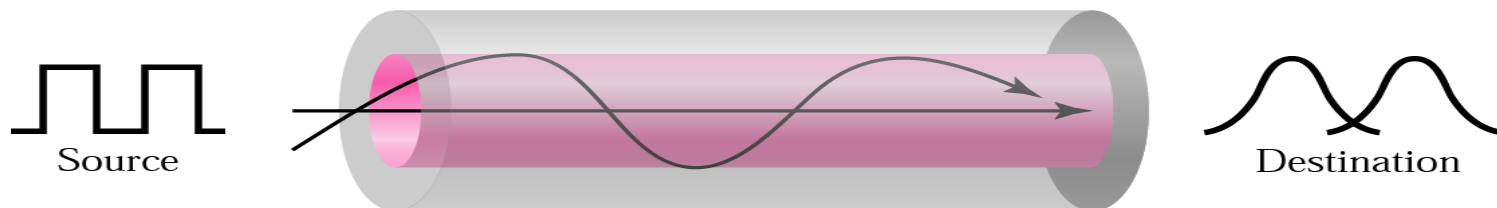


Шилэн кабелийн дамжуулах хэлбэр

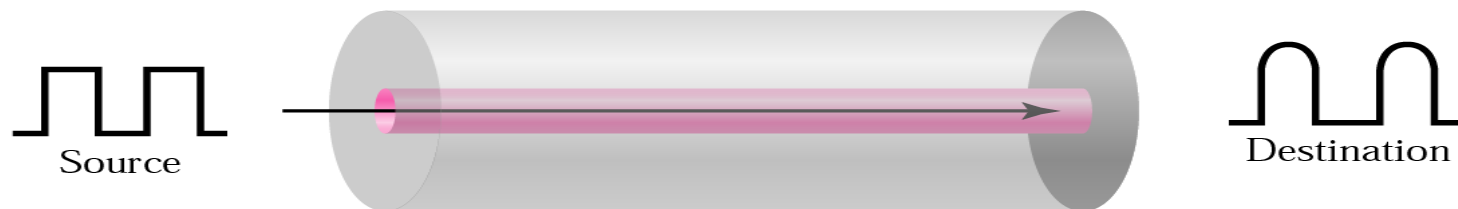
- Multimode: Олон гэрлийн цацраг ялгаатай замаар дамжина
- Single-mode: Цөмийн радиус нарийсч гэрэл гол тэнхлэгийн дагуу дамжина



a. Multimode, step-index

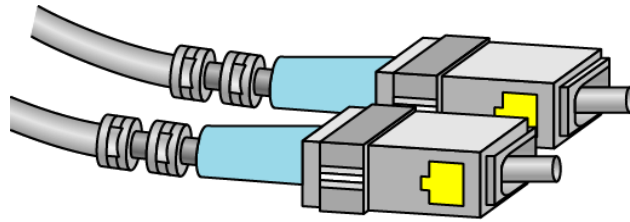


b. Multimode, graded-index

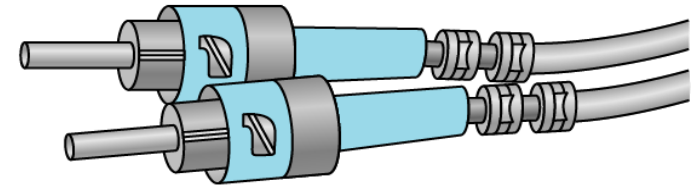


c. Single-mode

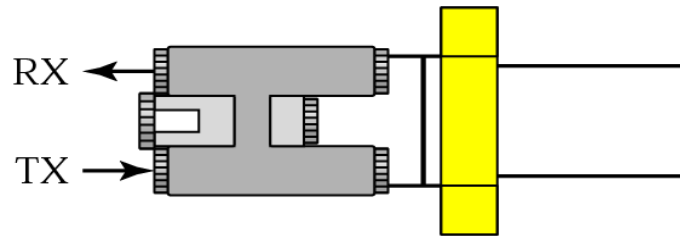
Fiber-optic кабелийн коннектор



SC connector



ST connector



MT-RJ connector

Шөрмөс

Төрөл	Core (μm)	Cladding(μm)	Mode
50/125	50	125	Multimode, graded-index
62.5/125	62.5	125	Multimode, graded-index
100/125	100	125	Multimode, graded-index
7/125	7	125	Single-mode

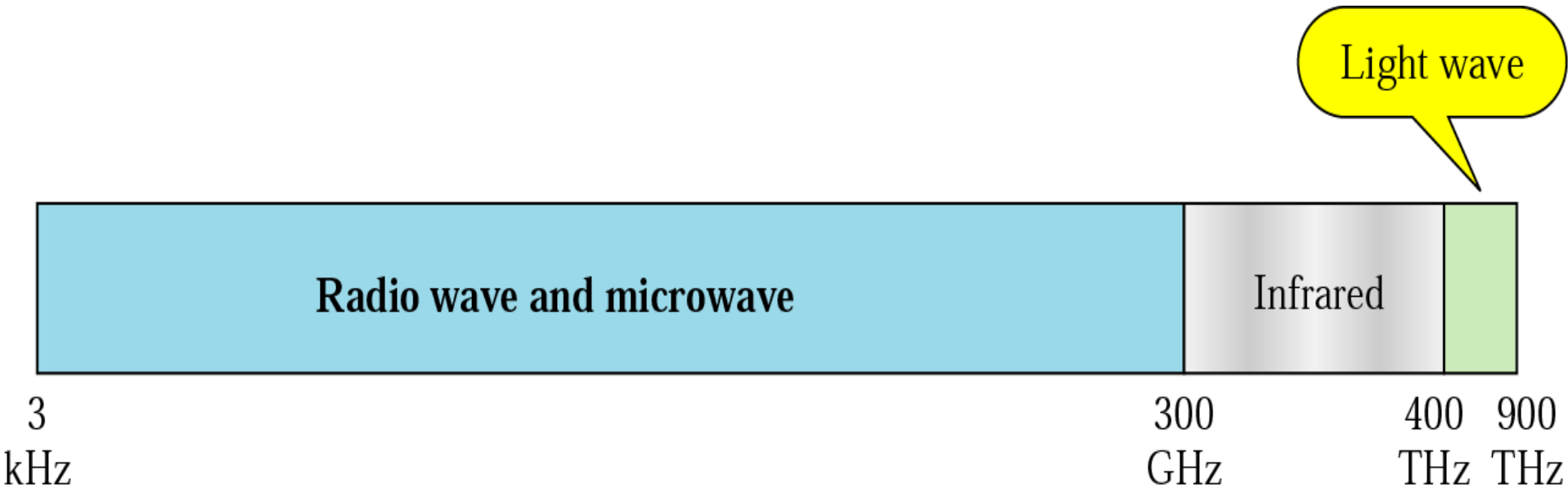
Чиглэлгүй орчин: Wireless

Оюутан юу эзэмших вэ:

- Утасгүй холбооны спектр
- Утасгүй холбооны тохиргоо
- Утасгүй холбооны тархалтын аргууд
- Broadcast Radio Communication
- Terrestrial Microwave Communication
- Satellite Microwave Communication
- Infrared Communication

Чиглэлгүй орчин: Wireless

Яагаад утасгүй холбоо / өгөгдөл дамжуулалт хэрэгтэй вэ?



Утасгүй холбооны цахилгаан соронзон спектрийн хуваарилалт

Чиглэлгүй орчин: Wireless

Утасгүй холбооны дамжуулалт ба хүлээн авалт нь антеннаар хийгдэнэ.

- Дамжуулалт : Антенн агаараар цахилгаан соронзон долгион цацруулна
- Хүлээн авалт : Антенн хүрээлэн байгаа орчноос цахилгаан соронзон долгион барьж авна

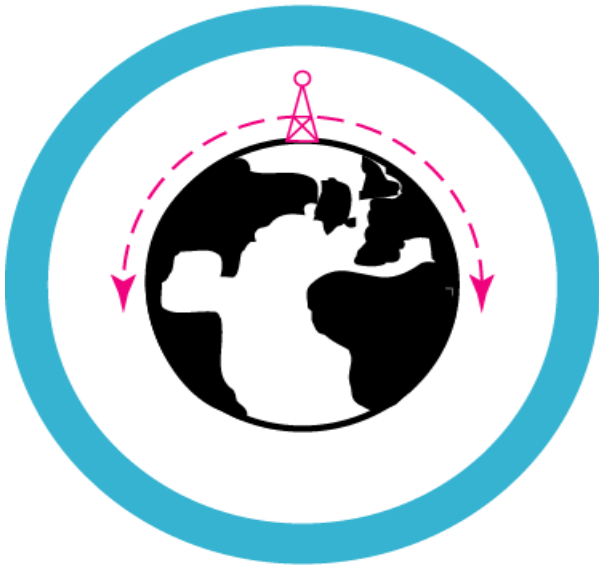
Чиглэлгүй орчин: Wireless тохиргоо

Үндсэн хоёр тохиргоо :

1. Цахилгаан соронзон долгион антеннаар чиглүүлэгдэнэ.
 - Дамжуулах болон Хүлээн авах тохиргоо хамтдаа хийгдэнэ.
 - Антенн хооронд Point-to-Point холболт тогтооно.
2. Цахилгаан соронзон долгион бүх чиглэлд тархана.
 - Хүлээн авагч олон антенн байна.
 - Broadcast дамжуулалт

Чиглэлгүй орчин: Тархалтын аргууд

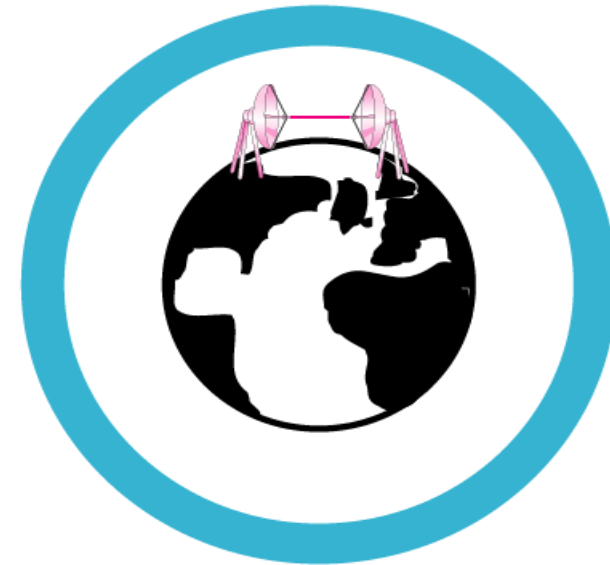
Ionosphere



Ionosphere



Ionosphere



Ground propagation
(below 2 MHz)

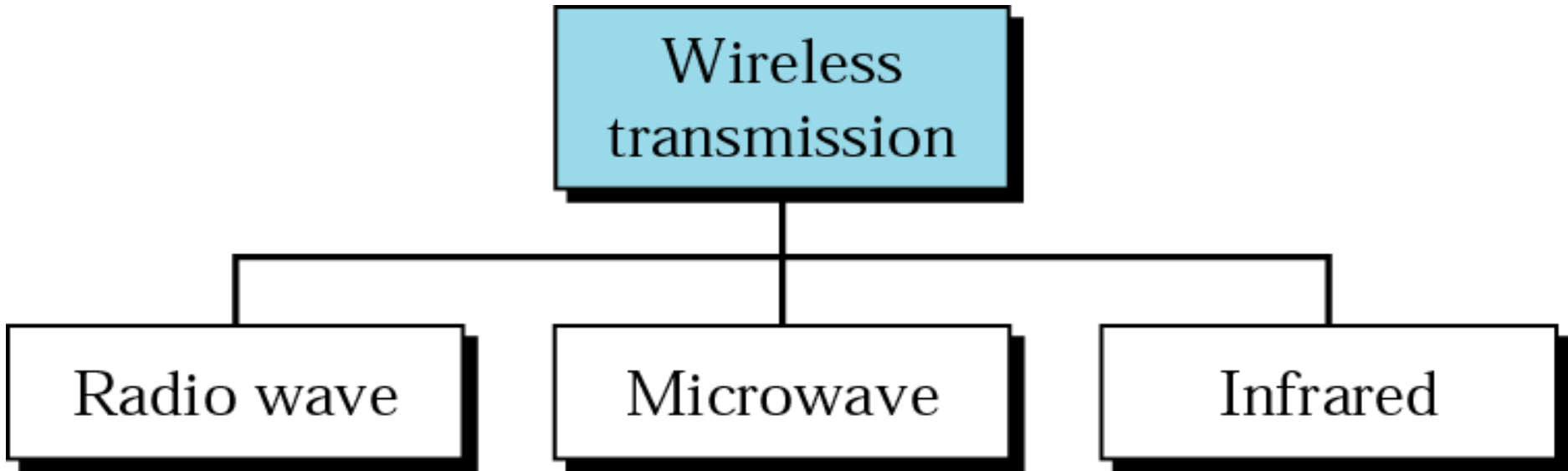
AM Радио

Sky propagation
(2 - 30 MHz)

Line-of-sight propagation
(above 30 MHz)

**FM Радио, TV,
Cellular phone**

Wireless дамжууллын аргууд

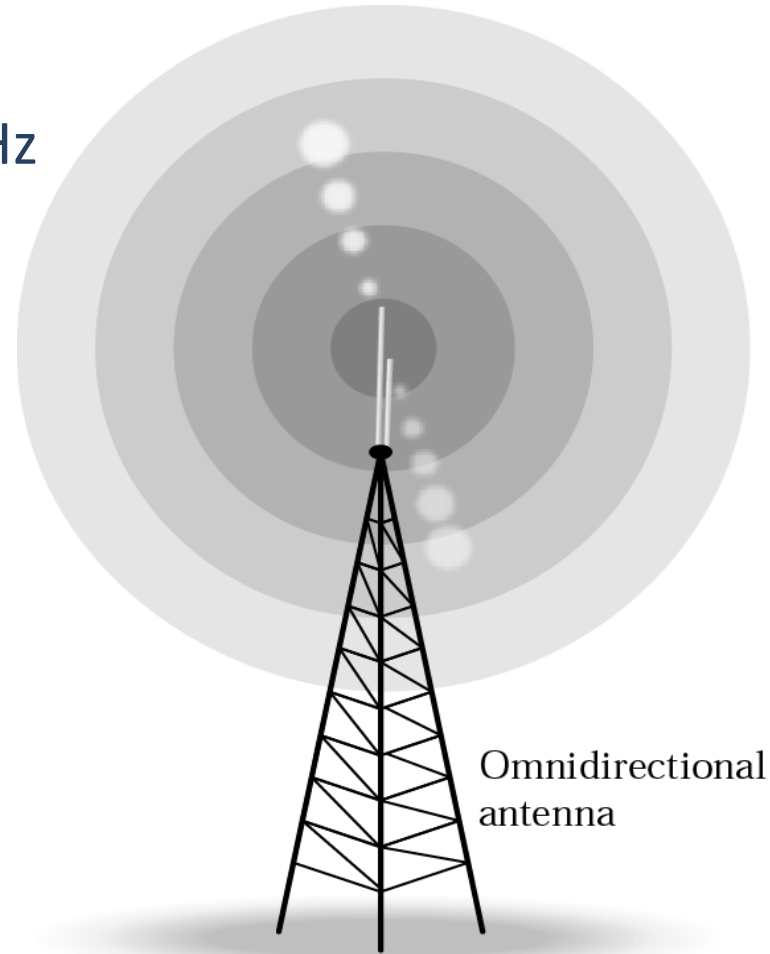


Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Broadcast Radio

- Дамтамжийн хязгаар : 3MHz – 1GHz
- Omnidirectional
- Multicast network
- Унтралт : $10\log(4\pi d/\lambda)$
- Нүдэнд үзэгдэх орчинд
- Хана нэвтэлнэ
- Байгалийн хүчин зүйлд тэсвэртэй
- Хол зайд дамжигдана

- FM Radio
- Television
- Data Networking



Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Microwave

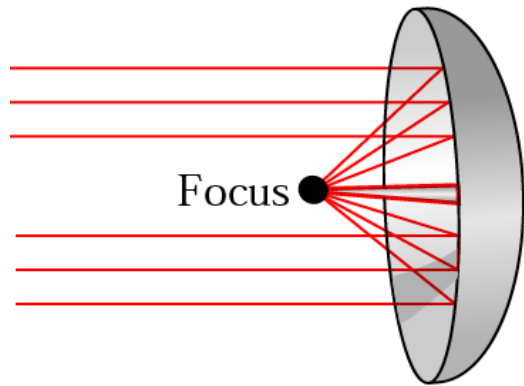
Бичил долгионы антенн нь дохиог тодорхой чиглэлийн дагуу цацна.

- Дамтамжийн хязгаар : 2GHz – 40GHz
 - Чиглэлтэй цацраг
 - Point-to-Point Transmission
 - Satellite Transmission
 - Unicast network
-
- Үүрэн холбоо
 - Сансрын холбоо
 - Wireless network

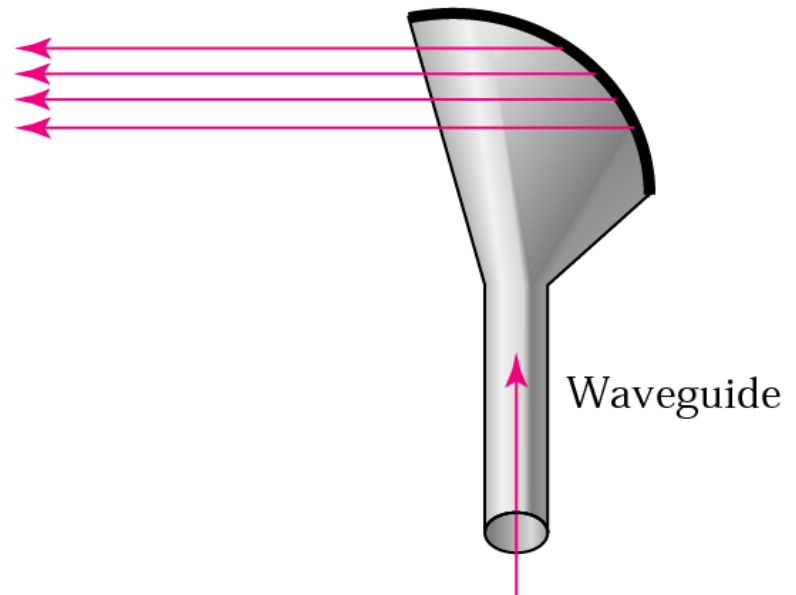
Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Terrestrial Microwave

- Холын дамжуулалт - Long-haul communication (4/6GHz – bigger antenna, 10м-ээс дээш)
- Point-to-Point link – Барилга хооронд (22GHz – smaller and cheaper antenna)
- Coaxial эсвэл Optic cable-д хувирна



a. Dish antenna



b. Horn antenna

Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Terrestrial Microwave

- Антенн хоорондын максимум зай:

$$d = 7.14\sqrt{kh}$$

d – зай Км

h – антенны өндөр м

k – коэффициент = 1.33

- Дамжууллын шинж чанар:
 - Өндөр давтамжтай дохионд илүү өргөн зурвас
 - Унтралт : $10\log(4\pi d/\lambda)^2$
 - Өндөр давтамжтай дохио илүү унтралттай
 - Байгалийн хүчин зүйл унтралтыг нэмэгдүүлнэ

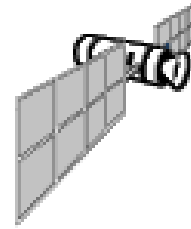
Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Satellite Microwave

- Сансрын холбоо нь бичил долгион дамжуулалд суурилна.
- Хиймэл дагуулыг ашиглана.
- 35784 Km өндөрт
- Гурван хиймэл дагуул дэлхийн бөмбөрцгийг бүтэн тойрно
- Point-to-Point configuration
- Broadcast configuration

Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Satellite Microwave



Satellite antenna

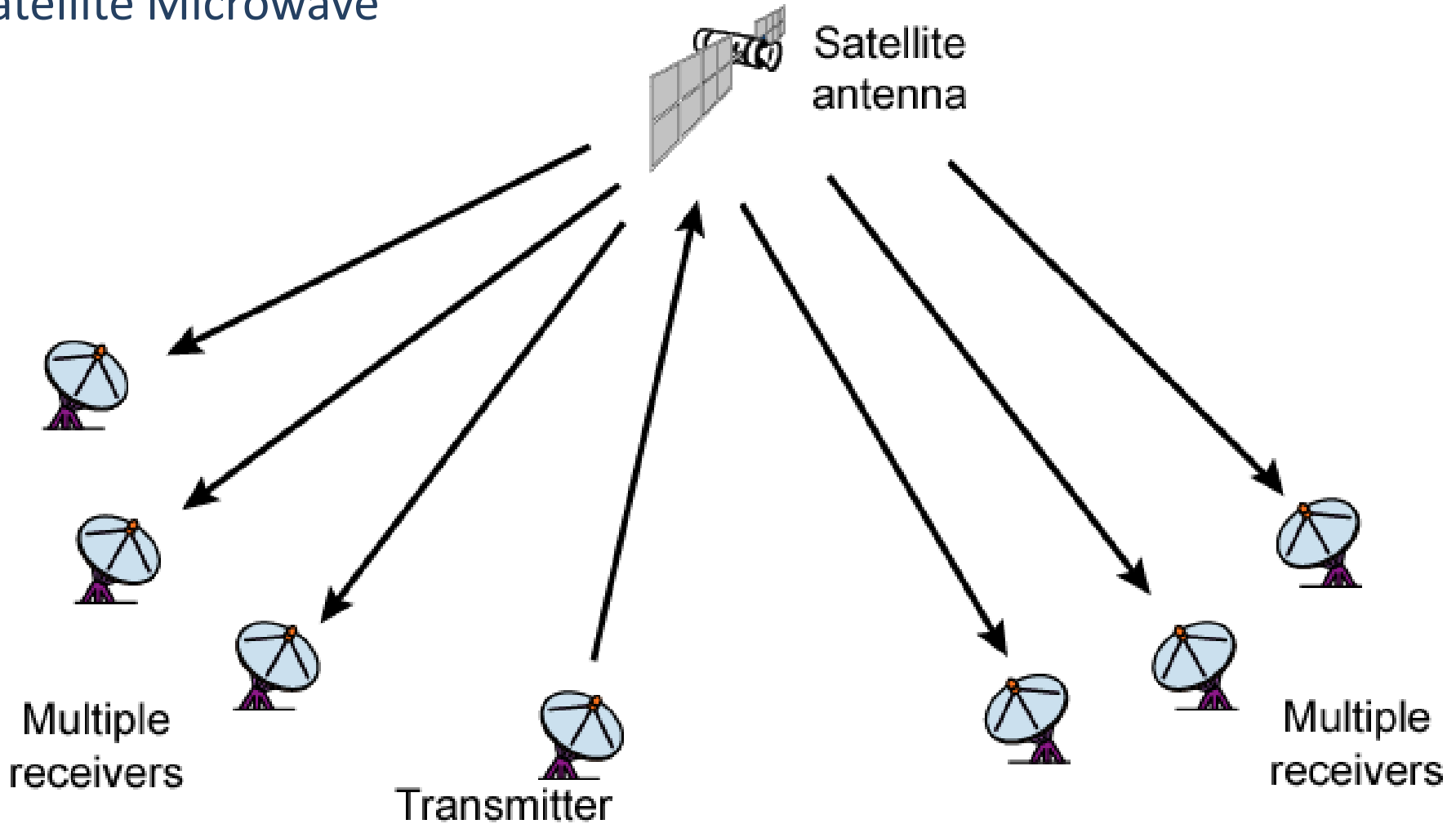
Earth station



(a) Point-to-point link

Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Satellite Microwave



(b) Broadcast link

Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Давтамжийн зурвас

- Transponders буюу дохиог хүлээж аваад автоматаар дамжуулдаг төхөөрөмж
- Сансрын холбоонд нэг давтамжийн зурвасаар(uplink) хүлээн авч өсгөөд, өөр давтамжийн зурвасаар(downlink) илгээнэ.

Common Frequency Band:

Band	Frequency	Downlink GHz	Uplink GHz
C	4/6GHz	3.7 - 4.2	5.925 - 6.425
Ku	12/14GHz	11.7 – 12.2	14.0 - 14.5
Ka	18/28GHz	17.7 – 21.0	27.5 – 31.0

Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Сансрын холбооны хэрэглээ:

- Television distribution
- Long-distance telephone transmission
- Private business network (VSAT)
- LAN interconnection (Intranet)
- Video Conferencing

Чиглэлгүй орчин: Дамжууллын арга

Infrared Communication

- Infrared range : 0.3 – 200THz
 - Хязгаарлах орчинд (нэг өрөөнд) Point-to-Point, Multipoint дамжуулалт хийнэ.
- Transceiver (wireless modem)
- Шууд ба алсын тусгалтай
- Хана нэвтлэхгүй
- Давтамжийн хуваарилалтын зөвшөөрөл шаардлагагүй
- Device-to-Device communication : 1 метр
- Өгөгдлийн хурд : 2400bps – 115.2 Kbps
extended 1.15 – 4 Mbps

Радио давтамжийн зурвас

Band	Range	Propagation	Application
VLF	3–30 KHz	Ground	Long-range radio navigation
LF	30–300 KHz	Ground	Radio beacons and navigational locators
MF	300 KHz–3 MHz	Sky	AM radio
HF	3–30 MHz	Sky	Citizens band (CB), ship/aircraft communication
VHF	30–300 MHz	Sky and line-of-sight	VHF TV, FM radio
UHF	300 MHz–3 GHz	Line-of-sight	UHF TV, cellular phones, paging, satellite
SHF	3–30 GHz	Line-of-sight	Satellite communication
EHF	30–300 GHz	Line-of-sight	Long-range radio navigation

Нэмэлт материал

http://highered.mcgraw-hill.com/sites/0072967757/student_view0/