

Data communications

Lecture 2

Data communication link parameters

Prof. Tuyatsetseg Badarch, PhD, MBA.

2022

Өгөгдөл дамжуулах системийн дохионы гажуудлууд

Тоон дохионы гажуудлуудад унтралт,саад,шуугиан хамаарагдана.

Энергийн алдагдлыг унтралтаар тодорхойлно.Дохионы цахилгаан энергийн зарим хэсэг нь дулааны энергид хувирдаг. Түвшин буурчихсан цахилгаан дохиог өсгүүрийн төхөөрөмжөөр үүсгүүрийн гаралтын дохионы түвшинтэй ижил хэмжээнд өсгөөд, дахин дамжуулах замаар унтралтыг арилгана.

Инженерийн тооцоонд унтралтыг децибелээр хэмждэг. Децибел нь хоёр өөр дохио, мөн хоёр өөр цэг дээрх дохионы хоорондын хамаарлаар тодорхойлогдоно. Хэрэв дохио унтарсан бол энэ хэмжээ нь хасах утгатай, дохионы түвшин өссөн бол эерэг утгатай байна.

$$db = 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \quad (1.20)$$

P_1, P_2 – 1 ба 2 цэг дээрх дохионы чадал.

Дасгал 1:

Дохиог дамжууллын хэрэгслээр дамжуулсан гэж үзье. Хүлээн авах хэсгийн оролтод дохионы чадал хоёр дахин буурсан бол дохионы унтралтыг олъё.

Шийдэл:

Хүлээн авах хэсгийн оролтын дохионы чадал :

$P_2 = \left(\frac{1}{2} \right) P_1$, эндээс дохионы унтралт буюу дохионы чадлын алдагдал

$$(1.19) \text{ томъёогоор } 10 \text{Log}_{10} \left(\frac{0.5 P_1}{P_1} \right) = 10 \text{Log}(0.5) = 10 \times (-0.3) = -3 \text{ дб}$$

Хүлээн авах хэсгийн оролтод дохионы чадал хоёр дахин буурсан тул дохионы чадлын алдагдал хасах утгатай гарч байна.

Дасгал 2:

Холбооны шугамын хэсэгт тавьсан өсгүүрийн гаралтад дохио 10 дахин өссөн бол өсгүүрийн өсгөлт буюу дохионы чадлын өсгөлтийг олъё.

Шийдэл:

$P_2 = 10 \times P_1$ эндээс дохионы өсгөлтийг (1.20) томъёогоор олбол
 $10 \log_{10}(10P_1/P_1) = 10 \times 1 = +10$ дб гарч байна.

Унтралт нь дамжуулж байгаа дохионд дараах нөлөөлөл үүсгэдэг.

- Дохиог шуугианы түвшингээс дээш байх зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс бууруулна.

- Хүлээн авах хэсэгт дохионы түвшинг зөвшөөрөгдөх хэмжээнээс нь бууруулна.

Дохионы хэлбэр өөрчлөгдөх, хугацаагаар зөрөх зэрэг гажуудлууд нь саадын төрөлд хамаарагдана. Олон давтамж дээр тархаж буй олон дохионы хувьд их ажиглагддаг.

Шуугианы нөлөөллөөс үүсэх гажуудлуудад дулааны шуугиан, индукцийн шуугиан, дотоод модуляцын шуугиан, харилцан нөлөөллийн шуугиан, мөн импульсийн шуугианууд хамаарагдана.

Дулааны шуугиан нь дамжууллын утсан дахь электронуудын хөдөлгөөний улмаас санамсаргүйгээр үүсгэгддэг.

Индукцийн шуугиан нь мотор, генератор гэх мэт ямар нэг үүсгүүрээр үүсгэгддэг. Энд үүсгүүр төхөөрөмж нь нэвтрүүлэх антен, дамжуулах хэлхээ нь хүлээн авах антен болно. Харилцан нөлөөллийн шуугиан нь дамжуулах утасны нэг нь нөгөөдөө нөлөөлөх үед үүснэ. Нэг утас нь нэвтрүүлэх антен, нөгөө утас нь хүлээн авах антен шиг шуугианыг үүсгэнэ.

Импульсийн шуугиан нь хугацааны маш богино агшинд маш их энергитэй дохиогоор үүсгэгдэнэ. Практикт дулааны шуугианыг тодорхойлох хэрэгцээ гардаг. (1.21a) томъёогоор дулааны шуугианыг тодорхойлно.

$$N_0 = k \times T \quad (1.21 \text{ a})$$

N_0 - шуугианы чадлын нягт, Ватт / гц

k - Больцманы тогтмол

T - Кельвины температур.

Тодорхой W давтамжийн зурваст дохио тархдаг тул дулааны шуугианыг (1.21a) томъёоны оронд

$$N = kTW \quad (1.21 \text{ б})$$

(1.21 б) томъёогоор бас илэрхийлэгдэнэ.

Шуугианы хэмжээг практикт түвшингээр хэмждэг учир дохионы шуугианы хэмжээг мөн түвшний утгаар тодорхойлдог. (Томъёо 1.22)

$$N = 10 \log k + 10 \log T + 10 \log W = -228.6 \text{ dbW} + 10 \text{ Log} T + 10 \text{ Log} W, \text{ дб} \quad (1.22)$$

1.6 Дохионы эзэлхүүн ба өгөгдлийн сувгийн нэвтрүүлэх чадвар

Өгөгдлийн холбооны системд тоон өгөгдлийг хувиргаж, холбооны сувгаар дамжуулдаг учраас холбооны сувгийн шинж чанар, түүгээр дамжих дохионы үндсэн тодорхойломжуудын хоорондох хамаарлыг авч үзэх хэрэгтэй. Иймд дохионы хэмжигдэхүүнүүд болон сувгийн физик шинж чанарыг авч үзье.

Дохионы хэмжигдэхүүнүүд:

- Дохионы үргэлжлэл $\wedge T_s$;

Хоёртын тооллын системд нэгж битийн үргэлжлэлээр тодорхойлогдоно.

- Дохио шуугианы харьцаагаар тодорхойлогдох дохионы түвшний өөрчлөлт $\wedge D_s$;

$$\wedge D_s = \text{Log}_2 \frac{P_s}{P_n} \quad (1.23)$$

P_s – Дохионы дундаж чадал

P_n – Шуугианы дундаж чадал

- Дохионы тархалтын зурвасын өргөн $\wedge F_s$;

Дууны дохионы хувьд давтамжийн зурвасын дээд хязгаараас доод хязгаарыг хассан тоон үзүүлэлтээр давтамжийн зурвасын өргөнийг олно. Телефоны нэгж сувгаар өгөгдлийг дамжуулахад зурвасын өргөнийг 3100 Гц гэж тооцно.

Декартын координатын системд дээрх 3 хэмжигдэхүүн нь ирмэг бүхий параллелипедийг үүсгэх тул " V_c " -г дохионы эзэлхүүн гэж нэрлэнэ.

$$V_s = \wedge T_s \wedge D_s \wedge F_s \quad (1.24)$$

Харин холбооны суваг дараах 3 үндсэн параметрээр тодорхойлогдоно.

- Тухайн сувгийг ажилд бэлтгэх хугацаа $\wedge T_c$
- Сувгийн нэвтрүүлэх зурвасын өргөн $\wedge F_c$
- Сувгийн динамик диапазон $\wedge D_k$.

Дохиог гажуудалгүй дамжуулахын тулд дохионы эзлэлхүүнийг сувгийн багтаамжаас бага байлгах хэрэгтэй байдаг. ($V_s \leq V_c$)

Мөн өгөгдөл дамжуулах системийн нэвтрүүлэх чадвар нь ашигтай мэдээ дамжуулах хурдаар тодорхойлогдоно.

Өгөгдөл дамжууллын хурд нь нэгж импульсийн үргэлжлэх хугацааны урвуу хэмжигдэхүүнтэй тэнцүү байна. Томъёо (1.1)-тэй хамааралтайгаар нэгж секундэд дамжуулах элементар импульсийн тоогоор бод хурд хэмжигдэнэ.

$$R = \frac{1}{T_b} \quad [\text{Бод}] \quad (1.25)$$

R – өгөгдлийн хурд

T_b – нэгж элементийн үргэлжлэл .

Өгөгдөл дамжууллын хамгийн их хурдыг Найквистийн теоремоор, (1.26) томъёогоор тодорхойлно.

$$R_{\max} = 2 \wedge F \quad (1.26)$$

Найквистийн теорем: Аналог дохионы агуургын тасалдуулгын тоог үндсэн дохионы давтамжийг хоёр дахин авсантай тэнцүү тоогоор тодорхойлно. Тасалдуулгын тоотой өгөгдлийн хурд тэнцүү гэж практикт тооцогддог.

Найквистийн теорем нь холбооны системд маш их үүрэг гүйцэтгэдэг.

Тоон сувгийн нэвтрүүлэх чадвар буюу нэг секундэд дамжих битийн тоог (1.27) томъёогоор тодорхойлно. Сувгийн нэвтрүүлэх чадвар нь /Найквистийн теоремийн/ өгөгдлийн хамгийн их хурдтай тэнцүү.

$$C_{\max} = R_{\max} = 2 \wedge F \quad [\text{бит / сек}] \quad (1.27)$$

Тоон системд импульсийн авч болох төлөвийн тоо өсөхөд нэг импульсэд харгалзах мэдээллийн тоо өсдөг. Хоёртын системд өгөгдөл дамжууллын хурд нь нэвтрүүлэх чадвартай тэнцүү биш байж болно. Яагаад гэвэл тоон дохиог кодож дамжуулах үед илүүдэл мэдээлэл үүснэ. Илүүдэл мэдээ дамжуулснаас шалтгаалж, сувгийн нэвтрүүлэх чадвар өгөгдөл дамжууллын хурдаас багасна.

$$C_{\max} < R \quad (1.28)$$

Хоёртын тооллын системд сувгийн ашигтай нэвтрүүлэх чадварыг мөн (1.29) томъёогоор тодорхойлно.

$$C = \frac{N_{pulse}}{T_{transmission}} \quad (1.29)$$

N_{pulse} – ашигтай мэдээллийн импульсийн тоо

$T_{transmission}$ - мэдээлэл дамжуулах нийт хугацааны үргэлжлэл.

Нэвтрүүлэх чадвар нь холбооны сувагт үйлчлэх цагаан шуугианы эрчмээс хэрхэн хамаарахыг авч үзье. Дохионд шуугиан үйлчилсэнээс импульсийн цувааны 1 гэсэн бит дамжигдахын оронд 0 бит, 0 бит дамжигдахын оронд 1 гэсэн бит дамжигдсан гэе.

Хүлээн авуурын дохио нь хэрэглэгчдэд шууд хүрэхгүй. Энэ үед хүлээн авах хэсэгт битийн алдааг илрүүлж, зассаны дараа хэрэглэгчдэд ойлгогдох текстэн мэдээллийг үүсгэнэ. Орчин үеийн компьютерийн сүлжээнд алдаа хяналтын протокол (ЕСР)-оор алдааг илрүүлж, засварладаг. Битийн алдаа засварлалт нь нэвтрүүлэх чадварыг бууруулна.

Шуугианы үйлчилгээг тооцож, нэвтрүүлэх чадварыг тодорхойлох нь практикт сүлжээний параметрийг үнэмшилтэй тодорхойлох гол нөхцөл болдог.

Энэ ойлголтыг эхлээд магадлалын онолоор тайлбарлъя. Шуугиангүй үед өгөгдлийн холбооны тоон үүсгүүрийн тоо хэмжээ $I'(x)$ / энтроп, томъёо 1.16/, нэгж хугацаанд дамжих элементийн тоо ν , сувгийн нэвтрүүлэх чадвар /1.27, 1.30/-ын хооронд дараах хамаарал байна.

$$C = \nu \cdot I'(x) \text{ [бит/сек]} \quad (1.30)$$

Томъёо (1.30)-аас харахад мэдээллийн тоо хэмжээ ихсэх тутам нэвтрүүлэх чадвар ихсэх нь харагдаж байна.

Шуугианыг тооцоогүй үед дамжигдах элементийн $x_1 - x_m$ төлөв бүрт харгалзан адил утгатай $y_1 - y_m$ төлөв байна. Шуугианы үйлчлэлийн улмаас x -тэй адил утгатай, зохицсон байдал алдагддаг. Өөрөөр хэлбэл, x_j -ын оронд y_j хүлээн авуурт өгөгдөнө.

$P_i(j) \rightarrow x_i$ - нь y_j - болж өөрчлөгдсөнийг хүлээн авах магадлал гэе.

Энэ магадлал тодорхой утга авахын тулд x_i -г дамжуулах ёстой. Энэ магадлалыг P_i магадлал гэе. P_i ба $P_i(j)$ зэрэг биелэх магадлалыг томъёо (1.31)-гоор тодорхойлно.

$$P(i_j j) = P_i P_i(j) \quad (1.31)$$

Шуугианы үйлчлэлээр хүлээн авсан нийт мэдээ нь үүсгүүрийн мэдээлэлтай адил биш утгатай болж, илүүдэл тэмдэгтүүд дамжигдах замаар нэвтрүүлэх чадварыг бууруулна. Энэ тохиолдолд нэвтрүүлэх чадвар (1.32) томъёогоор тодорхойлогдоно.

$$C_n = \nu[I'(x) - I'_y(x)] \quad (1.32)$$

$I'_y(x)$ нь C_{\max} –ын буурах хэмжээг үзүүлэх бөгөөд (1.32) томъёогоор тодорхойлогдоно.

$$I'_y(x) = \sum_{i,j} P(i, j) \log \frac{1}{P(j)_i} \quad (1.33)$$

Томъёо (1.9) -өөр элементийн төлөвийн тоо m -ын хамаарах параметруудийг олъё.

Энэ нь хоёртын болон олон байршилт системүүдийн хувьд нэгж бит хэдэн хүчдэлийн утгаар тодорхойлогдохыг илэрхийлнэ гэсэн үг.

Орчин үед тоон өгөгдлийг агуурга, давтамж, фазын манифуляц хийх замаар модуляц хийж, алсын холбооны сүлжээгээр дамжуулдаг.

Жишээлбэл: P_c чадалтай агуургын манифуляц хийгдсэн дохио байна гэе. Манифуляцын хугацаан дахь хүчдэлийн байж болох хамгийн их утга:

$$U_{c \max} = k_1 \sqrt{P_c R} \quad (1.34)$$

Хамгийн бага утга:

$$U_{c \min} = k_2 \sqrt{P_c R} \quad (1.35)$$

k_1, k_2 – тогтмол коэффициент ($k_1 > 1, k_2 < 1$).

Дохионы хүчдэл өөрчлөгдөх бүх хязгаар $[U_{c \max} - U_{c \min}]$ нь $\wedge U$ бүсүүдэд хуваагдана.

$\wedge U$ хэмжигдэхүүн нь хүлээн авуурын зөвшөөрөгдөх чадвараар хэмжигдэнэ.

Байж болох төлөвийн тоог (1.36) томъёогоор тодорхойлно.

$$m = \frac{U_{c \max} - U_{c \min}}{\wedge U} = \frac{(k_1 - k_2) \sqrt{P_c R}}{\wedge U}; \quad (1.36)$$

Тоон үүсгүүрийн мэдээллийн тоо хэмжээг (1.37) томъёогоор тодорхойлох нь (томъёо 1.16)-аас илүү нарийвчлал сайтай байна.

$$I_{\max} = \wedge F \wedge T \text{Log}[(k - k_2)^2 P_s R / \wedge U^2] = \wedge F \wedge T \text{Log}_2 a P_s \quad (1.37)$$

Хэрэв дамжуулах системийн сувгаар дамжиж буй дохионд шуугианы үйлчилгээ алдаанд хүргэх түвшинд хүрээгүй нөхцөлд алдаа нь хүлээн авах техникийн параметруудээс хамаарна.

Сувагт үүсэх шуугианы мэдээллийн хэмжээг (1.38) томъёогоор тодорхойлно.

$$I_n = \wedge F \wedge T \text{Log}_2 a P_n \quad (1.38)$$

Сувгийн гаралтын шуугиан нэмэгдсэн дохионы хувьд мэдээллийн тоо хэмжээ:

$$I_{out} = \wedge F \wedge T \text{Log}_2 a (P_s + P_n) \quad (1.39)$$

Дохио маш сайн кодлогдон модуляцлагдсан бөгөөд хүлээн авах хэсэгт ашигтай дохиогоо ялгаж авч чадна гэвэл ашигтай дохионы хэмжээ (1.40) байдлаар тодорхойлогдоно.

$$I_{max} = I_{out} - I_n = \wedge F \wedge T \text{Log}_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_n}\right) \quad (1.40)$$

$\frac{P_s}{P_n}$ - хүлээн авуурын оролтын дохионы чадлыг шуугианы чадлын түвшинд харьцуулсан

харьцаа буюу тоон системд дохио ба шуугианы харьцаа $\left(\frac{S}{N}\right)$ -тай эквивалент тэнцүү гэж тооцогддог. (томъёо 1.41)

Мэдээллийн тоо хэмжээтэй холбоотой сувгийн нэвтрүүлэх чадварыг Клауд Шенноны теоремоор үнэлнэ. Өгөгдлийн хурд ихсэхэд нэгж битийн дамжих хугацаа богино болж, илүү их битүүд шуугианы нөлөөлөлд өртөнө. Өгөгдсөн шуугианы түвшинд өгөгдлийн хурд ба алдааны хурд өндөр байна. Эдгээр ойлголтууд нь математикч Клауд Шенноны онолоор тайлбарлагдаж байна. Клауд Шенноны онолд дохио ба шуугианы харьцааг тоон системийн сувгийн багтаамжийг тодорхойлоход маш чухал параметр гэж тооцдог. Шенноны онолоор сувгийн багтаамжийг

$$(S/N)_{db} = 10 \text{Log} \text{ дохионы чадал} / \text{ шуугианы чадал} \quad (1.41)$$

харьцаанаас хамааруулж тооцно.

C – сувгийн багтаамж, бит/с

W – сувгийн зурвасын өргөн, Гц.

Дохио ба шуугианы харьцаанаас хамааруулж, сувгийн байж болох хамгийн их нэвтрүүлэх чадварыг тооцох онолыг Клауд Шенноны онол гэж нэрлэнэ.

Сувгийн байж болох хамгийн их нэвтрүүлэх чадварыг Клауд Шенноны онолоор (1.42) томъёогоор тодорхойлно.

$$C_{\max} = \wedge F \text{Log}_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad (1.42)$$

$$C_{\max} = 2 \wedge F \text{Log}_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad [\text{бит/сек}] \quad (1.43)$$

$\wedge F$ – зурвасын өргөн, телефон сувгийн хувьд 3100 Гц гэж стандартчлагддаг.

Практик тооцоонд (1.43) томъёог өгөгдлийн сувгийн багтаамжийг тодорхойлоход өргөн ашиглана. Тэгэхдээ

$$C_{\max} = 1.44 \wedge F \ln(1 + e^{2\wedge p}) \quad (1.44)$$

хэлбэрээр тооцоонд хэрэглэнэ.

Практикт телефон сувгийн дохио ба шуугианы түвшний ялгаа $\wedge p = (4.5 - 5.5)$ [нэгж нь непер], сувгийн нэвтрүүлэх чадвар $C = 40 - 500$ мянган бит/секунд хэмжээтэй.

Байж болох хамгийн их нэвтрүүлэх чадвартай хамааралтайгаар сувгийн багтаамж гэдэг хэмжигдэхүүнийг авч үздэг. Сувгийн багтаамж идеал тохиолдолд шуугиан нөлөөлөөгүй гэж үзнэ.

Шуугиангүй орчинд өгөгдлийн хурдны дээд хязгаарыг дохионы зурвасын өргөнтэй тоон утгаар адилаар тооцдог. Найквистын онолоор хэрэв тоон дохио дамжуулах хурд $2W$ бол энэ $2W$ утгаас хоёр дахин бага W – аас ихгүй давтамжаар аналог дохио дамжигдана гэж үздэг.

Найквистийн онолоор тоон сувгийн багтаамжийг тодорхойлох томъёог бичвэл

$$C = 2W \text{Log}_2 M \quad (1.45)$$

M – дохионы түвшний тоо.

Хэрэв дохио тоон хэлбэрт буюу хүчдэлийн хоёр түвшингээр илэрхийлэгдэн W Гц давтамжийн зурваст дамжигдаж байвал хоёртын тоон сувгийн багтаамж

$C = 2W \log_2 M = 2W$ гэж тодорхойлогдож Найквистийн онол батлагдаж байна. /
 $M = 2^1 = 2 /$ (1.27) томъёо (1.45) томъёотой адилхан утгатай болно.

Энэ нь дохио тоон хэлбэрт буюу хүчдэлийн хоёр түвшингээр илэрхийлэгдэн W Гц давтамжийн зурваст дамжигдаж байвал өгөгдлийн сувгийн багтаамжийг (1.45) томъёогоор W Гц давтамжийн зурваст $2W$ бит/сек гэж тооцдог.

Найквистийн теоремоор (1.26) өгөгдлийн хурдыг W Гц давтамжийн зурваст $2W$ бит/с хэмжээтэй гэж тооцдог.

Эндээс дүгнэхэд хоёртын сувгийн өгөгдлийн хурд нь сувгийн багтаамжтай тэнцүү болно.

Дасгал 3.

Хэрэв дохиог телефон ярианы 3100 гц давтамжтын зурвастай сувгаар хүчдэлийн хоёр түвшингээр илэрхийлэгдэх тоон хэлбэрт дамжуулья гэж үзвэл дууны сувгийн өгөгдлийн хурд ба телефон сувгийн багтаамжийг олъё.

Шийдэл.

Өгөгдлийн хурдыг (1.26) томъёогоор 6200 бит/сек гэж тодорхойлно. Олон түвшинт дохионы сувгийн багтаамжийг олох (1.45) томъёогоор сувгийн багтаамж 6200 бит/сек гэж тодорхойлогдоно.

Эндээс бодлогын нөхцөлөөр телефон сувгийн өгөгдлийн хурд нь сувгийн багтаамжтай тэнцүү болно.

Дасгал 4.

Практикт телефоны хэлхээгээр модемын төхөөрөмж ашиглан өгөгдөл дамжуулдаг. Телефон сувгийн зурвасын өргөн 3100 Гц. Хэрэв өгөгдлийг хүчдэлийн найман түвшингээр илэрхийлэн 3100 гц давтамжаар дамжуулбал сувгийн багтаамжийг олъё. Хоёр түвшингээс их түвшинтэй дохионы элемент бүр нэг битээс илүү битээр илэрхийлэгдэнэ.

Шийдэл:

Олон түвшинт дохионы хувьд Найквистийн онолоор сувгийн багтаамжийг (1.45) томъёогоор тодорхойлно. Тоон дохиог тоон дамжуулах системийн квантлалын теоремоор дохиог хүчдэлийн найман түвшингээр $M=8$ кодолсон бол бодлогын нөхцөлөөр $C = 2W \log_2 M = 2 \times 3100 \log_2 8 = 18.600$ бит/с хурдны багтаамжтай суваг болно. Ийм багтаамжтай суваг гэдэг нь 18600 бит/сек хурдтай нэвтрүүлэх чадварыг үүсгэнэ гэсэн үг.

Дасгал 5.

Зурвасын өргөн 3100Гц, дууны сувгийн дохио шуугианы харьцаа 30 дб буюу 1000:1. Клауд Шенноны онолоор энэ сувгийн багтаамжийг олъё.

Шийдэл.

Эндээс сувгийн багтаамжийг (1.42) томъёогоор тодорхойлбол:

$$C = 3100 \log_2(1+1000) = 30.894 \text{ бит/сек хэмжээтэй.}$$

Практикт дээрх хэмжээнээс бага хурдыг зөвшөөрдөг. Телефон хэлхээний хамгийн их бит хурд нь онолын хувьд 34.860Кбит/сек гэж тооцогддог. Учир нь стандарт телефон шугамын дохио ба шуугианы харьцаа 35 дб байдаг. Хэрэв бид энэ хурдыг ихэсгье гэвэл шугамын давтамжийн зурвасыг ихэсгэх, дохио шуугианы харьцааг хангах хэрэгтэй.

Холбооны сувагт цагаан шуугиан үйлчлэхэд шуугианы хэмжээ нэмэгдэж, зурвасын өргөн W –ихсэж, дохио шуугианы харьцаа буурна. Дохио шуугианы харьцаа S/N / буурна гэдэг нь шуугианы хэмжээ зөвшөөрөгдөх хэмжээнээсээ ихэсч, бит алдааг ихэсгэнэ гэсэн үг. Дохио шуугианы харьцаатай хамааралтай дараах параметр нь тоон өгөгдлийг дамжуулах хурд ба алдааны хурдыг тодорхойлоход тохиромжтой. Энэ параметр нь нэгж битийн дохионы энергийг нэгж Гц зурвас дахь шуугианы чадлын нягт E_b/N_0 / -д харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогддог. Нэгж битийн энерги йг (1.46) томъёогоор

$$E_b = ST_b \quad (1.46)$$

тодорхойлогдоно.

S – нэгж битийн энерги

T_b – нэгж бит илгээхэд зарцуулагдах хугацаа буюу нэгж битийн үргэлжлэх хугацаа.

Эндээс өгөгдлийн хурд (1.1)-ээс $R = \frac{1}{T_b}$ гэж тооцоологдоно.

Эндээс бид $\frac{E_b}{N_0}$ параметрыг (1.47) томъёогоор

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S/R}{N_0} = \frac{S}{kTR} \quad (1.47)$$

тодорхойлно.

Түвшний утгаар илэрхийлбэл :

$$\frac{E_b}{N_0} = S - 10\text{Log}R + 228.6\text{dbW} - 10\text{Log}T \quad (1.48)$$

гэж тодорхойлогдоно.

Дасгал 5.

Фаз солих модуляцтай системд $\frac{E_b}{N_0} = 8.4$ дб, бит алдааны хурд 10^{-4} , шуугианы температур 290К хэмжээтэй байдаг. Өгөгдлийн хурд 2400 бит/с бол хүлээн авах хэсгийн дохионы түвшинг тодорхойлъё.

Шийдэл:

(1.48) томъёогоор хүлээн авах хэсгийн оролтын дохионы түвшинг олбол:

$$8.4 = S(\text{dbW}) - 10\text{Log}2400 + 228.6\text{dBW} - 10\text{Log}290 = \\ S(\text{dBW}) - 10 \times 3.38 + 228.6 - 10 \times 2.46 \Leftrightarrow S = -161.8$$

дбвт хэмжээтэй.

Дасгал 6.

Телефоны товчлуур 0-9 цифр, #; * нийт 12 товчлуураас тогтоно. # ба * тэмдэгүүдийг илгээх магадлал тус бүр нь 0.005; 0-9 цифрийг илгээх магадлал тус бүр 0.099 бол энэ үүсгүүрийн өгөгдлийн хурдыг тодорхойлъё. Нэгж товчлуурын дарагдах хурдыг нэг секундэд 2 товчлуур дарагдана гэж үзье. Энэ үүсгүүрийн мэдээллийн тоо хэмжээ, мэдээллийг дамжуулах хурдыг тодорхойлъё.

Шийдэл: Мэдээллийн тоо хэмжээг (1.16) томъёогоор бодвол:

P_j – j-дүгээр мэдээллийг илгээх магадлал,

$$H = \frac{1}{\log_{10}(2)} \left[10 \cdot (0.099) \log_{10} \left(\frac{1}{0.099} \right) + 2(0.005) \log_{10} \left(\frac{1}{0.005} \right) \right]$$

$H = 3.38$ бит/сек гэж тодорхойлогдоно.

Нэгж битийн үргэлжлэх хугацаа $T = \frac{1}{2} = 0.5$ сек/Кгц .

Өгөгдлийн хурд $R = \frac{H}{T} = \frac{3.38}{0.5} = 6.76$ бит/сек болно.

Дасгал 7.

Компьютерийн хэрэглэгч аналог телефон утасны хэлхээгээ ашиглан өгөгдөл дамжуулахын тулд модем хэрэглэх шаардлагатай. Телефон хэлхээний дохио, шуугианы харьцаа $S/N = 25$ дБ, давтамжийн диапозон 300-3200 Гц гэж үзээд бит алдаа хамгийн бага байхаар өгөгдлийг дамжуулахын тулд телефон хэлхээгээр хамгийн ихдээ хэдэн бит/сек өгөгдлийн хурдны боломжтой болохыг тодорхойлъё. Модемын сонголтыг хийе.

Шийдэл:

Дохио шуугианы харьцаа $SNR : S/N = 10^{(25/10)} = 361.2$ дБ хэмжээтэй.

Зурвасын өргөн (1.2) томъёоноос $B = 3200 - 300 = 2900$ Гц болно.

Өгөгдлийн хурдаар сувгийн багтаамж тодорхойлогдоно. Клауд Шенноны онолоор мэдээллийн хурд нь сувгийн багтаамжаас бага хэмжээтэй бол бит алдаа байх магадлал тэгтэй тэнцүү гэсэн теоремоор (1.42) томъёогоор өгөгдлийн хурдыг тооцвол :

$$R = \Delta F \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) = 2900 [\log_{10}(1 + 361.2)] / \log_{10}(2) \text{ гэж тодорхойлогдоно.}$$

$R = 24.097 \text{ bits/s}$ хурдаас дээш хурдтай модем нь сувгийн чанарыг хангаж чадахгүй учраас бит алдаа ихэснэ. Харин онолын хувьд 19.2бит/с хурдтай стандарт модем нь дамжууллын шаардлагыг хангах боломжтой гэж тооцогдоно. Стандарт хурдтай аналог сувгийн Белл ба ITU-T стандарт модемуудыг бүлэг 2-оос үзнэ үү.

Дамжууллын хэлхээ буюу шугам нь өгөгдлийг дамжуулах зам нь болж өгдөг. Шугамын тооцоонд дамжууллын хэлхээний гүйцэтгэлийг дараах гурван параметрээр үнэлдэг.

- Нэвтрүүлэх чадвар

- Тархалтын хурд
- Тархалтын хугацаа

Нэг секундэд хичнээн битийг нэвтрүүлэх чадвараар нь сувгийн нэвтрүүлэх чадварыг үнэлнэ.

Тархалтын хурд нь дохионы тархалтын зай буюу нэг секундэд дамжууллын хэрэгслээр хэчнээн бит дамжихыг илэрхийлнэ.

Цахилгаан соронзон долгионы тархалтын хурд нь дамжууллын хэрэгсэл ба дохионы давтамжаас хамаардаг. Жишээлбэл, вакуум орчинд гэрэл 3×10^8 м/с хурдтай тархдаг бол коаксиаль кабелиар МГц-ээс ГГц давтамжийн зурваст 2×10^8 м/с хурдтай дамжигдана.

Шилэн кабелиар $V = C/n$ томъёогоор тархалтын хурдыг олно. /С-гэрлийн хурд, n – шилэн кабелийн зурхэвчийн хугарлын илтгэгч/.

Цөмийн хугарлын илтгэгчийн хэмжээ нь шилэн кабелийн хийцийн технологиос хамаарна. Цэвэр шилний хугарлын илтгэгч 1.5 байна. Шилэн кабелийн голчийг цэвэр кварц шил ба химийн элементүүдийн хольцоор хийдэг. Нэг модын шилэн кабелийн цөмийн хугарлын илтгэгч 1.46-1.48 , олон модын шилэн кабелийн цөмийн хугарлын илтгэгч 1.63-1.64 -ын хооронд байна.

Хос мушгиа кабелиар гэрлийн хурдны 0.67 хувиар тархалтын хурдыг /V / тооцож үздэг.

Тархалтын хугацаа дамжууллын хэрэгслээр сүлжээний нэг цэгээс нөгөө цэгт нэг бит дамжуулахад шаардагдах хугацаагаар тодорхойлогддог.Тархалтын хугацааг олохдоо зайг тархалтын хурдад харьцуулж олно. Нэг километрт дохио тархахад шаардагдах хугацааг тодорхойлно.

Ашигласан материал

1. Tuyatsetseg badarch, "Data communications" , Third edition, 2016. Ulaanbaatar, Mongolia.
2. Behrouz A. Forouzan “Data communications and Networking “, 2 edition, McGraw-Hill, 2013, ISBN 7-302-04378-7.
3. "Computer Networks: A Top-Down Approach," J. F. Kurose and K. W. Ross, 7th

Edition, Addison-Wesley, 2017, ISBN: 9780133594140 or
9780134296135.