

Data communications

Lecture 4

Data to signal transfer techniques, Mediums

Prof. Tuyatsetseg Badarch, PhD, MBA.

2022

Өгөгдлийн хувиргалт

Дараах 4 төрлийн өгөгдлийг хувиргалтыг холбооны системээр өгөгдөл дамжуулах үндсэн хувиргалтууд гэж үзнэ. Практикт маш өргөн ашиглагддаг. /Бүлэг 1-д дохионы төрлүүдийг авч үзсэн./

а: Аналог өгөгдлийг тоон дохионд хувиргаж дамжуулах арга.

б: Тоон өгөгдлийг аналог дохионд хувиргаж дамжуулах арга.

в: Аналог өгөгдлийг аналог дохионд хувиргаж дамжуулах арга.

г: Тоон өгөгдлийг тоон дохионд хувиргаж дамжуулах арга хамаарагддаг.

2.2.1 Аналог өгөгдлийг тоон дохионд хувиргах

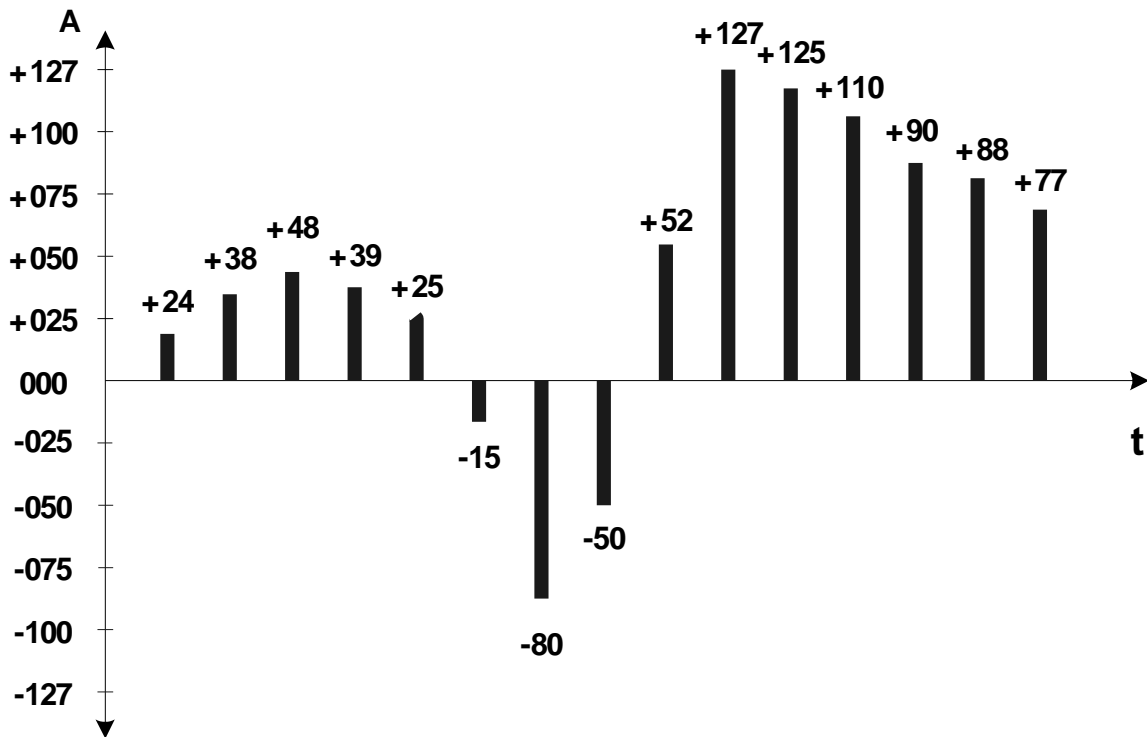
Зарим тохиолдолд аналог өгөгдлийг тоон дохионы хэлбэрт хувиргах шаардлагатай болдог. Жишээлбэл, аналог хэлбэртэй долгионоор үүсгэгддэг хүний яриаг холбооны системээр алс зайд дамжуулахын тулд тоон дохионы хэлбэрт хувиргах нь тохиромжтой.

Тоон дохио шуугианы нөлөөлөлд бага өртдөг. Аналог өгөгдлийг тоон хэлбэрт хувиргагч төхөөрөмжийг кодерын төхөөрөмж гэж нэрлэнэ. Эсрэгээр тоон дохиог аналог хэлбэрт декодерын төхөөрөмжөөр хувиргана.

Дараах хэд хэдэн үндсэн арга байна.

- Импульсийн агуургын модуляц (ИАМ)
- Импульсийн кодын модуляц (ИКМ). Энэ хоёр модуляцын аргыг хослуулан хэрэглэх замаар аналог өгөгдлийг тоон дохионд хувиргадаг.

ИАМ-ын гол зарчмыг авч үзвэл аналог өгөгдлийн агуургыг тэнцүү хэмжээтэйгээр хугацааны тасалдуулал хийх замаар импульсийн хэлбэрт шилжүүлдэг. Модуляцлагч тасралтгүй дохионы хуулиар зөөгч дохио гэж нэрлэгдэх тоон цувааны агуургыг өөрчлөх модуляцыг ИАМ гэнэ. ИАМ нь ИКМ-ын эхний шат болно. ИКМ аргыг орчин үед тоон цахилгаан холбоо, өгөгдлийн холбоонд маш өргөн хэрэглэж байна.



Зураг 2.4 ИАМ-ын квантлалын зарчим

ИАМ хийх үед хэдийгээр аналог өгөгдлийг тоон хэлбэрт шилжүүлсэн ч агуурга нь бага үргэлжлэлтэй аналог хэлбэртэй байдаг учир ИКМ хэрэглэснээр тэр бага үргэлжлэлтэй агуургыг тоон хэлбэрт шилжүүлнэ.

ИКМ-ын зарчмыг авч үзвэл ИАМ хийгдсэн тоон дохиог ИКМ-ын аргаар квантлаж, кодлоно.

Дохионы дискрет утгыг хязгаарлагдмал хэмжээтэй тогтмол хүчдэлийн утгаар орлуулан солих хувиргалтыг кодлол гэж нэрлэдэг.

Хүний ярианы аналог дохиог тоон хэлбэрт кодлох дээрх зарчмыг Америкийн холбооны системээр хэрхэн шийддэг болохыг авч үзье. Зүүн Америкийн системд хүний ярианы дохиог -127 оос +127 вольт хүчдэлийн түвшний хязгаарт +24, +38 +48 гэх мэт хүчдэлийн түвшингээр 15 сегментээр тасална. Зураг 2.4-д агуургын утгуудыг үзүүлсэн. Зурагт дүрсэлсэн 15 хүчдэлийн түвшний хамгийн ойр орших түвшин рүү дискрет утгыг шилжүүлж, хоёртын тооллын системийн кодоор кодлоно. Дээрх 15 квантын утга бүрийг 7 битээр кодлоно. Хэрэв дохионы түвшин эерэг бол 7 битийн өмнө 1 төлөвийн бит нэмнэ. Харин дохионы түвшин сөрөг бол 7 битийн өмнө 0 төлөвийн битийг нэмнэ. Хүснэгт 2.1-д квантлагдсан өгөгдлийг 1 ба 0-ийн цуваагаар кодолсон төлөвийг үзүүллээ.

Хүснэгт 2.1-ээс харахад жишээлбэл +039 квантын утгын хоёртын тооллын утга нь 00100111 гэсэн нийт 8 битээр тодорхойлогдох харагдаж байна.

Квант-члалын түвшин	Түвшинд харгалзах кодын комбинац	Квант-члалын түвшин	Түвшинд харгалзах кодын комбинац	Квант-члалын түвшин	Түвшинд харгалзах кодын комбинац
+024	0001100	-015	10001111	+125	01111101
+038	00100110	-080	11010000	+110	01101110
+048	00110000	-050	10110110	+090	01011010
+039	00100111	+052	00110110	+088	01011000
+026	00011010	+127	01111111	+077	01001101

Квантлалын түвшинг 4 битээр авч, хүний ярианы дохиог тоон хэлбэрт хувиргаж болно. Европын системд квантлалын түвшинг 8 битээр сонгож (-3072 мВт)-аас (+3072мВт) хүртэлх хүчдэлийн хязгаарт тархах хүний ярианы аналог дохиог нэмэх, хасах нийт 256 түвшингээр квантлан (2^8), 8 битээр кодлодог. Энэ аргын үед 256 түвшингээр квантлах үед үүсэх шуугиан ОУЦХБ-ын стандартаар зөвшөөрөгдөх хэмжээндээ байдаг. Үүсэх шуугиан нь хүний ярианд хамгийн бага нөлөөлөхийг тогтоосон. Үүнээс олон түвшингээр квантлахад схем, техникийн шийдэл нарийн, нийлмэл бүтэцтэй, үнэ өртөг өндөртэй болно.

Дээрх аргаар аналог өгөгдлийг тоон дохионд хувиргах аргыг орчин үеийн тоон дамжуулал ба холболтын төхөөрөмжүүдэд өргөн ашиглана. Төхөөрөмж нь тоог аналог болгох төхөөрөмжөөс хямд, энгийн бүтэцтэй. Харин аналог дохионы агуургыг хэдий хэмжээгээр тасалдуулахыг оновчтой хийх нь хамгийн чухал юм. Аналог дохионы агуургын тасалдуулгыг хамгийн оновчтой хийх теоремийг Найквистийн теорем гэнэ.

Найквистийн теоремоор хамгийн их давтамжийн зурвасын хэмжээг хоёр дахин авсан утгаар тасалдууллын хурд буюу тасалдууллын давтамжийг тодорхойлдог. (2.1) томъёогоор тасалдууллын хурдыг олно.

$$f_s = 2F_{\max} \quad (2.1)$$

Тасалдууллын давтамжийн урвуу хэмжигдэхүүн болох тасалдууллын хугацааг (2.2) томъёогоор тодорхойлно.

$$T_s = \frac{1}{2F_{\max}} \quad (2.2)$$

Тасалдуулал хийх утгуудын хоорондын хугацаа нь (2.2) томъёоны тасалдууллын хугацааны утгаас тэнцүү буюу бага байх ёстой. Жишээлбэл 0.3- 3.4 КГц-ын зурваст тархдаг хүний ярианы дохиог тоон дохионы хэлбэрт хувиргаж, ямар хурдтай сувгаар дамжуулахыг тодорхойлж. Хамгаалах зурвасыг тооцож, хамгийн их давтамжийн зурвасыг тодорхойлно. Ярианы дохио нь хамгаалах зурвастайгаа 4000 Гц зурваст тархдаг.

Найквистийн теоромоор тасалдууллын хамгийн их хурдыг (2.1) томъёогоор олвол $2 \times 4000 = 8000$, Энэ хэмжээ нь ярианы дохиог нэг секундэд 8000 тасалдуулна гэсэн үг юм.

Нэгж бит дамжуулах хурд нь тасалдууллын хурдыг f_s нэг тасалдууллын хугацаан дахь битийн тоог N -ээр үржүүлсэн үржвэрээр тодорхойлогдоно $R = f_s \times N$ гэдгээс $8000 \times 8 = 64000$ бит/с буюу 64 Кбит/сек гэж тооцогдлоо. Энэ хэмжээ нь 64 Кбит/сек хурдтай нэгж тоон сувгийг илэрхийлнэ. Өөрөөр хэлбэл, нэг тоон сувгаар 64000 бит нэг секундэд дамжина гэсэн үг. 64 Кбит/сек-ээс бага хурдтай сувгийг аналог суваг гэж авч үздэг.

Дамжуулын хэрэгслийн нь авч үзье

Ердийн холбооны дамжуулах системээс оптик мяндсан дамжуулах системийн ялгагдах онцлог давуу талуудыг авч үзье.

а. *Асар өргөн давтамжийн зурвас.*

Шилэн кабелийн 10^{13} - 10^{16} Гц -ийн давтамжийн зурвас нь металл кабелийн системээс (коаксиаль кабелийн давтамжийн зурвас 500MHz) асар их байх ба миллиметрийн радио системээс ч (сүүлийн үед миллиметрийн радио системийн модуляцийн зурвас 700MHz хүрч байна) хавьгүй их юм.

Одоогийн байдлаар шилэн кабелийн давтамжийн зурвас бүрэн ашиглагдаж чадаагүй байна. Харин 100км зайд хэдэн ГГц-ийн, 300км-т 100 ГГц-д модуляцлагдсан дохио завсрын өсгөлтгүй ашиглагдаж байна. Эндээс шилэн кабелийн мэдээлэл дамжуулах чадвар хамгийн сайн, зэс кабелийн системээс үлэмж их болох нь харагдаж байна.

Шилэн кабелийн давтамжийн зурвасыг цааш өргөсгөж болно Тухайлбал, хэд хэдэн гэрлийн дохиог нэг нь нөгөөгөөсөө ялгаатай долгионы урт дээр кабелийн нэг шөрмөсөөр зэрэг дамжуулах замаар шилэн кабелийн давтамжийн зурвасыг улам өргөн болгож болно. Энэ технологийг долгионы уртын нягтруулгын технологи (WDM) гэж

нэрлэнэ. Энэ технологиор шилэн кабелийн мэдээлэл зөөх чадварыг коаксиаль кабелийнхтай харьцуулахад олон дахин ихэсгэдэг.

б. Хэмжээ , жин бага.

Нэрнээсээ аваад үзсэн ч гэсэн шилээр хийгддэг болох нь илэрхий. Шилэн кабель нь маш бага 10-50 нм диаметртэй байх ба энэ нь хүний үсний диаметрээс бага байна. Иймд эдгээр кабель нь хамгаалах бүрхүүлтэйгээ ч зэс кабелиас хавьгүй хөнгөн жинтэй. Энэ нь газар нутгийн эзлэгдсэн байдлыг багасгах асар их боломж олгох ба онгоц, хиймэл дагуул, усан онгоцуудын хооронд дохио дамжууллыг өргөтгөх сайн талтай.

в. Цахилгаан тусгаарлал.

Оптик шилэн кабель нь шилээр хийгддэг учраас (заримдаа пластмас полимер) цахилгаан тусгаарлагч хэмээн үзэж болох ба тийм учраас металл кабель шиг газардуулга, интерфэйсийн бэрхшээл байхгүй. Энэ шинж чанараараа оптик кабель нь цахилгааны аюултай орчинд холбоо зохион байгуулахад нэн зохимжтой.

Учир нь шилэн кабель богино залгаас болон шалбархай дээр тэсрэх ховхрох зэрэг аюулгүй.

г. Шилжилтийн шуугиан болон нөлөөллөөс сайн хамгаалагдсан.

Оптик кабель нь диэлектрик долгион хөтлүүр учраас цахилгаан соронзон нөлөөлөл, радио давтамжийн нөлөөлөл зэрэгт өртдөггүй. Иймд оптик холбооны системийн ажиллагаа цахилгааны шуугиантай орчинд дамжуулахад шуугианы нөлөөнд өртдөггүй. Шилэн кабель нь цахилгаан соронзон нөлөөллөөс хамгаалах хуяг шаарддаггүй. Мөн шилэн кабель нь цахилгаан цохилтонд мэдрэмжгүй. Түүнээс гадна шилэн кабелиудын хооронд гэрлийн нөлөө байхгүй болгоход хялбар ба иймд олон шилэн кабелиуд сүлжигдсэн ч гэсэн шилжилтийн шуугиан бараг үүсдэггүй.

д. Дохионы нууцлал.

Шилэн кабелиар дамжиж байгаа гэрэл их хэмжээгээр сарнидаггүй учир дохионы нууцлал маш өндөр. Зэс кабелийнхтай ижил биш, гэрлийн дохиог шилэн кабелиас зориулалтын биш аргаар авах боломжгүй. Энэ нь оптик холбоог дамжууллын нууцлал шаардах цэрэг, банк мөн өгөгдлийн сүлжээнд хэрэглэх гол нөхцөл болдог.

е. Дамжуулах алдагдал бага.

1960 оноос хойш 20-иод жилийн шилэн кабелийн системийн хөгжлийн үр дүнд шилэн кабелийн унтралтыг нэг километрт 1000 дб байх хэмжээнээс 0.2-0.5 дб хүртэл бууруулж чадсан. Унтралтыг дээрх хэмжээгээр бууруулсаны үр дүнд дахин дамжуулагчын хоорондох зайг (90-120 км) хүртэл ихэсгэсэн. Энэ нь системийн өртөг төвөгтэй байдлыг үлэмж хэмжээгээр бууруулсан. Иймд оптик шилэн кабель нь алсын

зайд холбоо зохион байгуулахад өргөн хэрэглэгдэх болсон. Шилэн кабель нь анх 1000 дб/км унтралттай байсан бол одоо 1550 нм долгионы уртад 0.2 дб/км хамгийн бага унтралт үзүүлэх болсон. Энэ нь оптик холбооны хөгжлийн хамгийн гол онцгой давуу тал юм.

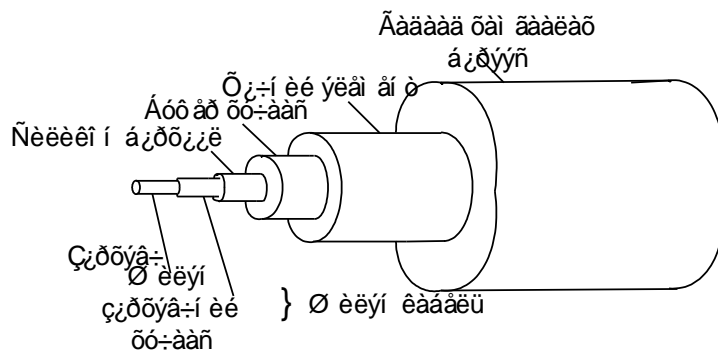
ж. Уян хатан шинж чанар.

Хамгаалах бүрхүүлүүд шаардлагатай боловч, шилэн кабель маш өндөр хүчний элементтэй хийгдэж болно. Шилэн кабелийг бага радиустай нугалж, тахийлгаж гэмтэлгүйгээр эвхэх боломжтой. Үүнээс гадна хадгалах, тээвэрлэх, суурилуулахад зэс кабельтай харьцуулахад давуу талтай.

1.7.3 Оптик кабелийн бүтэц, ангилал

Шилэн кабелийн цөмийн хэсгээр гэрлийн дохио дамжуулах хэлбэрээр нь нэг модын ба олон модын гэж ангилна. Шилэн кабелийн гадаад бүтцийг зураг 1.5 -д харуулав.

Олон модын шилэн кабелийг градиентэн ба шаталсан бүтэцтэй гэж ангилж үздэг.

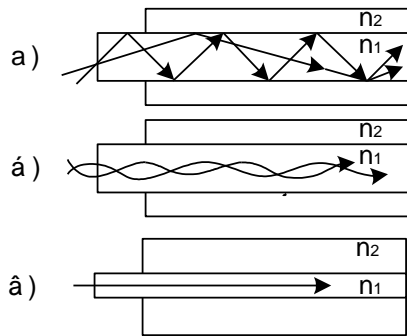


Зураг 1.5 Шилэн кабелийн гадаад бүтэц

Цөм болон хучаас нь цэвэр шилээр хийгдэх ба буфер буюу бүрхүүл нь шилэн кабелийг механик гэмтлээс хамгаалах зориулалттай. Зураг 1.6-д нэг мод, олон модын шаталсан ба градиентэн шилэн кабелиар гэрлийн дохио дамжих байдлыг үзүүлээ. Нэг модын шилэн кабелиар гэрэл шулуун замаар тархана.

Шаталсан шилэн кабель: Цөмийн хугарлын илтгэгч нь *тогтмол* n_1 -оос хучаасын хугарлын илтгэгч n_2 нь ялимгүй бага шилэн кабелийг шаталсан шилэн кабель гэж нэрлэдэг. Учир нь энэ төрлийн шилэн кабелийн хугарлын илтгэгчийн профиль нь цөм болон хучаасын зааг дээр огцом шилжилт хийдэг.

Олон модын шилэн кабелийн цөмийн диаметр нь шилэн кабелийн цөмөөр олон тооны модууд буюу гэрлийн цацрагуудыг дамжуулахад хангалттай их байна. Харин нэг модын шилэн кабель нь ганц цахилгаан соронзон модыг дамжуулдаг. Цахилгаан соронзон модын тоогоор гэрлийн цацрагийн тоо тодорхойлогдоно. Иймд нэг модын шилэн кабелийн цөмийн диаметр нь 2-10 нм орчим, хүний үсний диаметрийн хэмжээ шиг нарийхан байдаг.



Зураг 1.6 Шилэн кабелиар гэрлийн дохио дамжих зарчим

Градиентэн шилэн кабель: Энэ төрлийн шилэн кабелиудын хувьд цөмийн хугарлын илтгэгч нь тогтмол биш ба цөмийн төвийн n_1 гэсэн (хамгийн их) утгаас n_2 гэсэн тогтмол утга руу буурдаг. Голч цацраг нь шилэн кабелиар дамжихдаа тойрог дугуй үүсгэн тархдаг байна. Цөмийн төвөөс хугарлын илтгэгч нь аажмаар багасч байгаа учир туяаны олон тооны хугарлыг үүсгэдэг.

Шилэн кабель нь өндөр давтамж дээр зэс кабелийн технологитой харьцуулахад маш бага унтралттай байхаас гадна давтамжийн зурвасын өргөн их байдаг давуу талтай юм.

Шилэн кабелиар гэрлийг хамгийн бага дисперс ба унтралттай дамжуулах 3 үндсэн долгионы уртын цонх байна. Эдгээрт 850 нм, 1300 нм, 1550 нм долгионы уртын цонхууд багтана. Эдгээр цонхнуудаар урт ба богино долгион тархана Хүснэгт 1.3-д богино, урт долгионы тархах долгион уртын хэмжээг цонх бүрээр үзүүлээ.

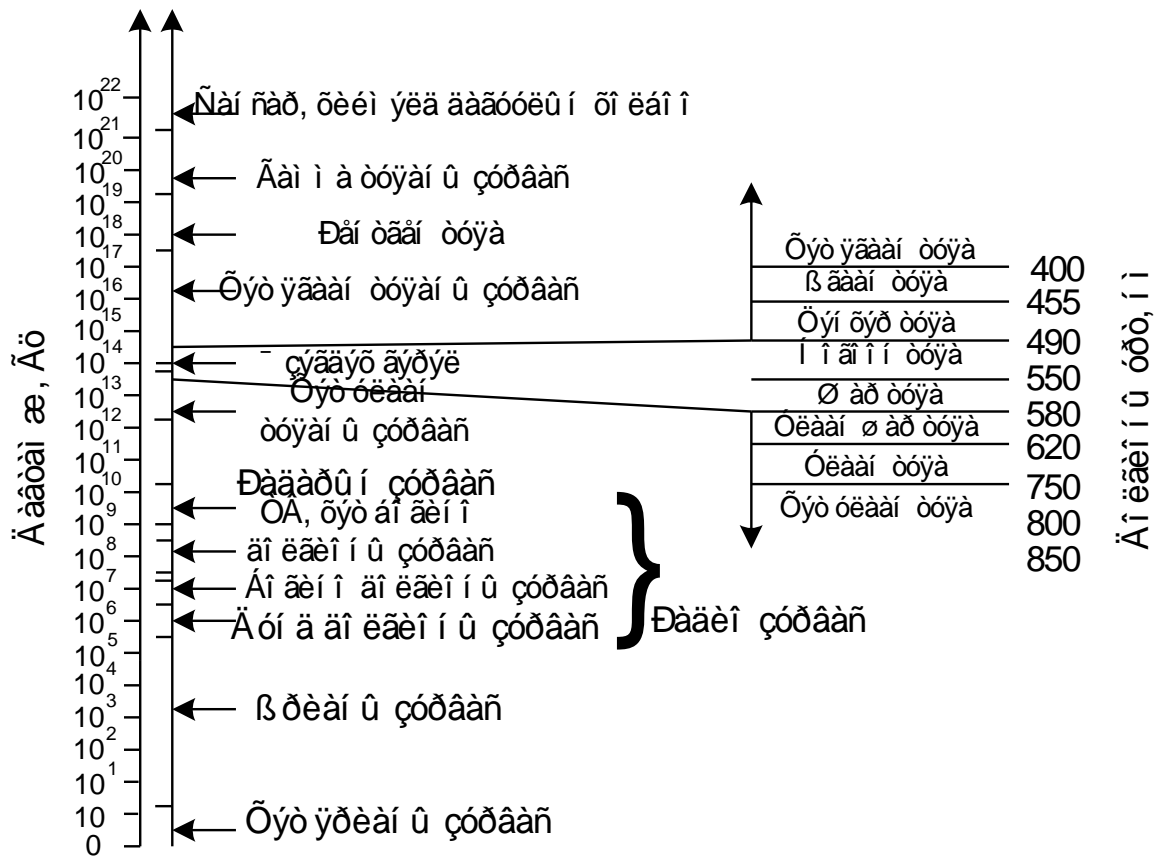
Урт, богино долгионы уртын хэмжээ

Хүснэгт 1. 3

Долгионы уртын цонх	Богино долгион	Урт долгионы хэмжээ
850 нм	845 нм	850 нм
1300 нм	1295 нм	1300 нм
1550 нм	1560 нм	1550 нм

Долгионы урт

Дамжууллын хэрэгслээр дохио дамжуулах үеийн дохионы нэг гол параметр юм. Долгионы уртыг энгийн синусоид дохионы үеийг дамжууллын хэрэгслийн тархалтын хурдаар үржүүлсэн үржвэрээр тодорхойлно. /томъёо1.50/



Зураг 1.7 Цахилгаан соронзон долгионы спектр

Өөрөөр хэлбэл, дохионы давтамж нь дамжууллын хэрэгслийн төрлөөс хамаарна. Харин долгионы урт нь давтамж ба дамжууллын хэрэгслийн шинж чанараас хамаарна гэсэн үг. Дохионы үеэр долгионы урт тодорхойлогдоно.

Зураг 1.7-д цахилгаан соронзон долгионы тархалтын спектрийг үзүүллээ.

Хэдийгээр долгионы урт нь цахилгаан дохионы параметртэй холбогддог ч шилэн кабелиар гэрлийн дохио дамжуулах үед хамгийн чухал параметрээр тооцогддог.

Долгионы уртыг λ , тархалтын хурдыг c , дохионы үеийг T , давтамжийг f гэж үзвэл долгионы уртыг (1.49a) томъёогоор тодорхойлно.

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ [мкмметр]}. \quad (1.49a)$$

Шилэн кабелийн хувьд гэрэл дамжуулах хурд v нь гэрлийн хурдыг шилэн кабелийн шилэн зүрхэвчийн цөмийн хугарлын илтгэгч n -д харьцуулсан харьцаагаар томъёо (1.49б) томъёогоор тодорхойлогдоно.

$$v = c/n \quad (1.496)$$

Энэ нь гэрэл хөтлүүрийн үйлдвэрлэлийн технологиос хамаарч дамжууллын хурд нь тодорхойлогдохыг үзүүлж байна.

Дохионы давтамж ба үе урвуу хамааралтай (1.1) томъёоноос долгионы урт (1.50) томъёогоор тодорхойлогддог.

$$\lambda = c \times T \quad (1.50)$$

(1.49а) томъёоноос шилэн кабелийн давтамжийн зурвасын хэмжээ ихсэх тусам долгионы урт буурч байгаа нь харагдаж байна. Шилэн кабелийн холбоонд 800 нм-ээс 1600 нм долгионы уртын хооронд (10^{14} гц давтамжаас доош) гэрлийн дохио шилэн кабелиар тархана.

Шилэн кабелийн системийн гэрэл дамжуулах 5 цонхны долгионы уртын хэмжээг хүснэгт 1.4-д үзүүлсэн. Маш өндөр давтамж буюу маш бага долгионы урттай гэрлийн дохиог харилцаа холбооны технологид өргөн хэрэглэнэ.

Долгионуудын нэвтрүүлэх цонхны зурвас Хүснэгт 1.4

Нэвтрүүлэх цонх	Долгионы уртын хэмжээ, нм
Нэгдүгээр цонх	Ойролцоогоор 850 нм
Хоёрдугаар цонх	1280-1325 нм
Гуравдугаар цонх	1530-1565 нм
Дөрөвдүгээр цонх	1565-1620 нм
Тавдугаар цонх	1350-1450 нм

Маш өндөр давтамжтай оптик зөөгчүүд нь өгөгдлийг маш өндөр хурдаар зөөж чадна. Ийм учир өндөр хурдтай холбоо, мэдээллийн системд шилэн кабелийн дамжуулах системийг хэрэглэх нь хамгийн тохиромжтой болж байна.

Дасгал 8.

Агаарт тархах хэт улаан туяаны долгионы уртыг олъё. Хэт улаан туяаны тархалтын давтамжийн зурвас 4×10^4 .

Шийдэл:

(1.50) томъёогоор $\lambda = (3 \times 10^8) / (4 \times 10^{14}) = 0.75 \times 10^{-6}$ микрометр.

шуугиан их үүсдэг муу талтай. Тоон дохиог АСМ,ДСМ аргуудаар 0.1-100 бит/с хурдтайгаар дамжуулна.

Дунд радио зурвас (Middle Frequency, MF): 300 КГц-ээс 3 МГц-ын хоорондын дунд радио зурвасын долгионыг АМ радио холбоо, мөн далай тэнгисийн радио холбоо, гэрлийн дохионы холбоо, осол аваарын болон гэнэтийн тохиолдлын холбоог зохион байгуулахад ашиглана. Атмосфер болон гадаад дулааны нөлөөллөөс өдрийн цагт шуугиан их үүсдэг муу талтай ч антенныг сайжруулснаар шуугианы нөлөөллийг бууруулж болно. Тоон дохиог АСМ,ДСМ аргуудаар 10-1000 бит/с хурдтайгаар дамжуулна.

Өндөр радио зурвас (High Frequency, HF): 3 МГц-ээс 30 МГц-ын хоорондын өндөр радио зурвасын долгионыг сонирхогчдын радио холбоо, хотын радио холбоо (дээд зурваст), олон улсын өргөн нэвтрүүлгийн холбоо, цагдаагийн холбоо, нисэх онгоц ба далайн хөлөг онгоцны холбоо, мөн телефон, телеграф, факсын холбоог зохион байгуулахад ашиглана. Ионосферын давхаргаас дэлхийн гадарга хооронд ойж тархдаг. Атмосфер болон гадаад дулааны нөлөөллөөс өдрийн цагт шуугиан их үүсдэг муу талтай ч антенныг сайжруулснаар шуугианы нөлөөллийг бууруулна. Тоон дохиог АСМ,ДСМ аргуудаар 10-3000 бит/с хурдтайгаар дамжуулна.

Маш өндөр радио зурвас (Very high frequency, VHF) : 30 МГц-ээс 300 МГц-ын хоорондын маш өндөр радио зурвасын долгионыг өндөр давтамжийн телевизийн холбоо (54-88 МГц), FM радио холбоо (88-108 МГц), пейжерийн холбоо (VHF-ийн нам зурвас), алс зайн нисэх онгоц ба далайн хөлөг онгоцны АМ радио холбоог (108-174 МГц) зохион байгуулахад ашиглана. Үзэгдэх гэрлийн тархалттай. Аналог дохиог АМ,ДМ аргаар 5 КГц-5 МГц хүртэлх зурваст дамжуулна. Тоон дохиог ФСМ,ДСМ аргуудаар 100 Кбит/сек хүртэл хурдтайгаар дамжуулна.

Хэт өндөр радио зурвас (Ultra high frequency, UHF) : 300 МГц-ээс 3 ГГц-ын хоорондын хэт өндөр радио зурвасын долгионыг хэт өндөр давтамжийн телевизийн холбоо (470-806 МГц), утасгүй холбоо (400 МГц хүртэлх зурвас), үүрэн радио холбоо, пейжерийн холбоо (өндөр зурвас), богино долгионы радио холбоо (1 ГГц-3 ГГц) -г зохион байгуулахад ашиглана. Үзэгдэх гэрлийн тархалттай. Аналог дохиог ЛМ аргаар 420 МГц хүртэлх зурваст дамжуулна. Тоон дохиог ФСМ аргуудаар 10 Мбит/сек хүртэл хурдтайгаар дамжуулна.

Хэт өндөр богино долгионы радио зурвас (Super high frequency, SHF): 3 ГГц-ээс 30 ГГц-ын хоорондын хэт өндөр богино долгионы радио зурвасын долгионыг хуурай замын ба хиймэл дагуулын холбоо, радарын холбоог зохион байгуулахад ашиглана.

Үзэгдэх гэрэл, сансрын орон зайн гэрлийн тархалттай. Аналог дохиог ДМ аргаар 500 МГц хүртэлх зурваст дамжуулна. Тоон дохиог ФСМ аргуудаар 100Мбит/сек хүртэл хурдтайгаар дамжуулна.

Туйлын өндөр радио зурвас (Extremely high frequency, EHF): 30 ГГц-ээс 300 ГГц-ын хоорондын хэт өндөр орон зайн радио зурвасын долгионыг хуурай замын ба хиймэл дагуулын холбоо, радарын холбоо, туршилт, судалгаа шинжилгээний чиглэлээр холбоог зохион байгуулахад ашиглана. Сансрын орон зайн гэрлийн тархалттай. Аналог дохиог ДМ аргаар 1 ГГц хүртэлх зурваст дамжуулна. Тоон дохиог ФСМ аргаар 750 Мбит/сек хүртэл хурдтайгаар дамжуулна.

Богино долгионы системийг алсын зайн цахилгаан холбооны систем, телевизийн системд өргөн хэрэглэдэг. Мөн барилга байшингуудын хооронд ойр зайд цэгээс цэгт холбоог үүсгэхэд хэрэглэнэ. Жишээлбэл, компьютерийн локаль сүлжээнүүдийн хооронд утасгүй холболт үүсгэхэд өргөн ашиглах боломжтой.

2-40 ГГц-ын зурваст дохио төвлөрнө.

Ямар ч дамжууллын систем дэх үүсгүүрийн үндсэн алдагдал бол дохионы унтралт байдаг.

Радио зурвасын хувьд дохионы алдагдлыг (1.51) томъёогоор тодорхойлдог.

$$L = 10 \text{Log} \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad [\text{дБ}] \quad (1.51)$$

λ – долгионы урт

d – хоорондын зай

Харин хос мушгиа кабель, коаксиаль кабель гэх мэт чиглүүлэлтэй системд дохионы унтралт зайнаас шууд хамаардаг.

Тоон богино долгионы системийн зурвас, зурвасын өргөн, өгөгдлийн хурдны хамаарлыг хүснэгт 1.5-д авч үзэв.

Зурвасын өргөн ба өгөгдлийн хурдны хамаарал Хүснэгт 1.5

Зурвас (ГГц)	Зурвасын өргөн (МГц)	Өгөгдлийн хурд (Мбит/сек)
2	7	12
6	30	90
11	40	90
18	220	274

30 Мбит/сек-ээс 1 Гбит/сек хүртэлх радио зурвасыг өгөгдлийн сүлжээнд өргөн ашигладаг.

2.2.2 Тоон өгөгдлийг аналог дохионд хувиргах

1 ба 0 битийн төлөв бүхий тоон дохиогоор илэрхийлэгдсэн дохионы аль нэг параметрийг өөрчлөх замаар аналог дохионд хувиргана. Энэ хувиргалтыг солих модуляц гэж нэрлэнэ. Зарим тохиолдолд манифуляц ч гэж нэрлэдэг.

Модемын төхөөрөмжөөр модуляцыг хэрэгжүүлнэ. Модем гэдэг нь аналог өгөгдлийг тоон хэлбэрт, тоон өгөгдлийг аналог хэлбэрт хувиргах, өгөгдлийн төгсгөлийн төхөөрөмжийг шугамд залгаж өгөх үүрэгтэй шугамын төхөөрөмж (DCE) юм. Компьютерээс тоон өгөгдлийг телефоны хэлхээгээр дамжуулахын тулд компьютерийн гаралтын тоон дохиог телефоны хэлхээнд зохицсон аналог дохио болгох шаардлагатай. Энэ үед тоог аналог болгох модуляцын доорхи аргуудыг ашиглана. Үүнд:

- Агуурга солих модуляц (АСМ)
- Давтамж солих модуляц (ДСМ)
- Фаз солих модуляц (ФСМ)
- Агуурга ба фаз солих модуляцуудын нэгдэл квадратур агуургын модуляц (КАМ) зэрэг багтана.

Дээрх аргуудаас КАМ-ыг бүх төрлийн модемын төхөөрөмжид хэрэглэнэ. Хамгийн үр ашигтай хувиргалт гэж үздэг. Дээрх модуляцын процессыг ойлгохын өмнө өгөгдлийн хурдыг авч үзье. Өгөгдлийн холбоонд бит хурд, бод хурд гэсэн хоёр чухал хурдны параметр хэрэглэгдэнэ. Бод хурд, бит хурдны хоорондын хамаарлыг (2.3) томъёогоор тодорхойлно.

$$D = \frac{R}{b} = \frac{R}{\log_2 L} \quad [\text{элемент/сек буюу бод}] \quad (2.3)$$

D – Модуляцийн хурд,

R – Өгөгдлийн хурд,

b – Дохионы элементэд агуулагдах битийн тоо,

L – Ялгаатай дохионы элементийн тоо.

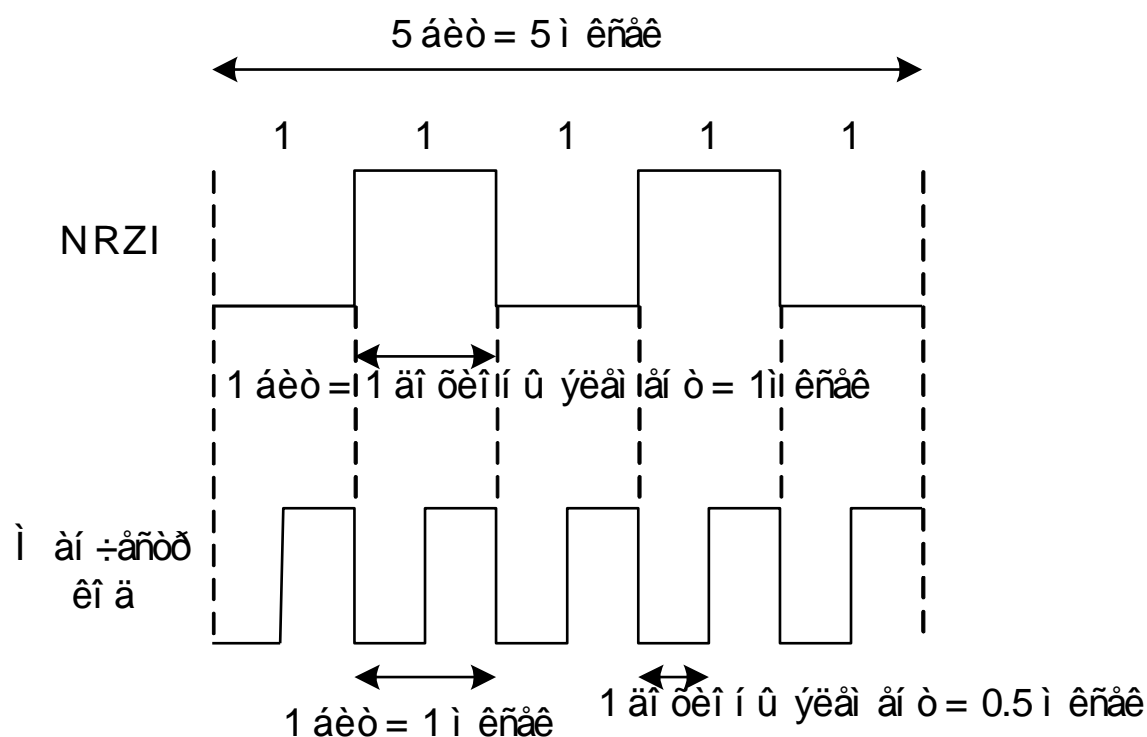
Телеграфын болон өгөгдлийн холбооны дамжууллын хурдыг нэг секундэд дамжуулах дохионы элементийн тоогоор тодорхойлдог. Харин нэг секундэд дамжуулж буй бинар

битийн тоогоор бит хурд хэмжигдэнэ. Жишээлбэл 300 бод хурдтай гэвэл нэг секундэд 300 дохионы элемент дамжуулна.

Нэг битийг хэдэн нэгжээр өөрчлөн дамжуулах аргаас хамаарч b, L -ын утга өөрчлөгдөнө. Жишээлбэл үүсгүүрийн нэг битийг модуляц хийж хоёр битээр дамжуулбал модуляын хурд (2.4) томъёогоор

$$D_b = \frac{2}{t_b} \quad (2.24)$$

гэж тодорхойлогдоно.



Зураг 2.5 1 Мбит/сек хурдтай өгөгдлийн цуваа

Жишээлбэл, өгөгдлийн хурдыг томъёогоор илэрхийлбэл нэгж битийн үргэлжлэх хугацааны урвуу хэмжигдэхүүн болно. Манчестр кодлолыг авч үзье. Манчестр кодын дохионы нэг элементийн үргэлжлэл нь нэгж битийн үргэлжлэлийн хоёрны нэгээр хэмжигдэнэ. Олон үргэлжилсэн тэг болон үргэлжилсэн олон нэгийн битүүдийн цувааны

үед Манчестр кодын үед хамгийн их модуляцийн хурд $\frac{2}{t_b}$,

t_b – нэгж битийн үргэлжлэл. 1Мбит/сек хурдтай олон дараалсан нэг битийн NRZ-L, Манчестр кодуудаар илэрхийлэгдсэн тоон цувааны харьцуулалтыг зураг 2.5-д дүрсэллээ.

Модуляцын хурд нэгж битийн үргэлжлэх хугацаанд битийн төлөв буюу битийн туйл хичнээн удаа солигдох хэмжээгээр тооцоологдож байна.

Бит хурд нь нэг секундэд дамжих битийн тоог тодорхойлно. Нэгж нь бит/сек.

Бод хурдаар нэг секундэд дамжих дохионы нэгжийн тоог тодорхойлно. Модуляцын хурд гэж нэрлэнэ. Нэгж нь бод буюу элемент/сек.

Өгөгдлийн холбоонд дохиог нэг төгсгөлөөс нөгөө төгсгөл рүү блок, бүлэг, багц, фреймийн аль хэлбэрээр нь дамжуулахыг тодорхойлох их чухал байдаг.

Давтамжийн бага зурвасаар олон бит дамжуулахад цөөхөн дохионы нэгж хэрэглэж, дамжууллыг үр ашигтай болгоно. Дохиог илгээхэд шаардагдах давтамжийн зурвасыг бод хурдаар тодорхойлно.

Бод хурд нь бит хурдтай тэнцүү буюу түүнээс бага хэмжээтэй.

Энгийнээр тайлбарлавал бодоор машиныг, битээр уг машинд суугчдыг илэрхийлж болно. Машин болгон зөвхөн жолоочтой гэвэл 1000 машин явахад нийт 1000 зорчигч, харин машин бүр 4 суугчтай гэвэл 1000 машин явахад нийт 4000 зорчигч. Машинд суугчын тоогоор биш, машинаар замын ачаалал тодорхойлогдоно. Үүнтэй адил бодын утга нь битийн тоог биш, давтамжийн зурвасыг тодорхойлно.

Дасгал 2.

Аналог дохионы элемент бүрийг 4 битээр илэрхийлсэн бол 1000 элементийг нэг секундэд дамжуулахад хичнээн бод ба бит хурд хэрэгтэйг олъё.

Шийдэл:

Бод хурд нь элементийн тоогоор тодорхойлогдох учраас 1000 бод/сек.

Бит хурд нэгж элементийн тоог бод хурдаар үржүүлсэн утгаар тодорхойлогдох учраас $1000 \times 4 = 4000$ бит/сек.

Дасгал 3.

Тоон дохионы бит хурд 3000. Дохионы элемент бүр 6 битээр илэрхийлэгдсэн бол бод хурдыг олъё.

Шийдэл:

Бод хурд нь бит хурдыг нэгж элементийн тоонд харьцуулсан харьцаагаар тодорхойлогдох учраас $3000/6 = 500$ бод/сек.

Аналог дамжууллын үед нам давтамжтай дохиог өндөр давтамжтай дохиогоор зөөнө. Ийм учир өндөр давтамжтай дохиог зөөгч дохио гэнэ. Тоон мэдээллийг аналог дохионы агуурга, давтамж, фазын аль нэгийг зөөгч дохиогоор модуляц хийснээр үүсгэнэ. Энэ төрлийн модуляцыг солих модуляц гэх бөгөөд мэдээллийн дохио нь зөөгч дохио болно.

Өгөгдлийн сүлжээний дамжуулах орчинд хандах

Терминалаас үүсгэсэн өгөгдлийг сүлжээний дамжуулах хэрэгслээр дамжуулах ойлголтыг шугамын хандалтын аргад (*access method*) хамааруулан авч үзнэ.

Өгөгдлийн сүлжээгээр дамжуулалт хийхийн тулд мэдээллийг физик хэлбэрт хөрвүүлнэ. Үүний тулд дохиог дамжуулах системийн онцлогоос хамаарч үргэлжилсэн ба тасралттай цахилгаан соронзон долгион, гэрлийн цацраг хэлбэрт хувирган дамжуулна. Тоон үүсгүүрээс хоёртын битээр илэрхийлэгдсэн мэдээллийг физик хэлхээгээр алсад дамжуулахын тулд тохиромжтой шугамын дохионд хувиргаж дамжуулна. Үүнийг кодлолоор тодорхойлно. Өгөгдлийн локаль сүлжээний дамжуулалд ихэвчлэн Манчестр кодыг өргөн ашиглана.

Сүлжээний хэрэглэгчид сүлжээгээр өгөгдөл солилцохдоо дамжуулах системийг хэрхэн ашиглах, аль нь эхэлж дамжуулалт хийх, үүссэн алдааг хэрхэн илрүүлж засварлах, дамжууллын дарааллаа хэрхэн тодорхойлох зэргээр дамжуулах орчинд хандахын тулд хэд хэдэн арга ашигладаг .

Хамгийн өргөн хэрэглэгддэг арга нь зөөгчийн хяналттай олон хандалтат, коллизийг илрүүлэх CSMA/CD (Carrier sense multiple access/ collision detection) протокол юм. Энэ аргын зарчим нь сүлжээнд холбогдсон төхөөрөмж өгөгдлөө дамжуулахын өмнө дамжуулах орчин чөлөөтэй байгаа эсэхийг шалгана. Сүлжээ чөлөөтэй бол өгөгдлийн багцаа дамжуулж, энэ хугацаанд бусад хэрэглэгчид хүлээлтийн горимд ордог. Энэ аргын давуу тал нь хугацааны нэг агшинд сүлжээний төхөөрөмжүүд өгөгдлөө нэгэн зэрэг дамжуулж, дамжуулах хэлхээнд өгөгдлийн коллиз (*collision*), хэт ачаалал үүсэхээс зайлсхийхэд оршино. Коллизоор тодорхойлогдох хэт ачаалал үүсэх үед дамжуулах хэлхээнд дохионы агуурга ихэвчлэн хоёр дахин нэмэгддэг.

Дамжуулал хийсэн төхөөрөмжөөс бусад төхөөрөмжүүд тодорхой хугацаанд хүлээлтийн горимд байх бөгөөд дамжуулах орчинд дахин хандах хүсэлтийн богино багцыг илгээх үндсэн дээр өгөгдлийн дамжууллыг үргэлжлүүлнэ.

CSMA/CD-ээс гадна токен гэж нэрлэгдэх богино фреймийн дамжууллаар сүлжээнд хандах арга байдаг. Энэ аргын зарчим нь сүлжээгээр өгөгдөл дамжуулалт явагдаж байх үед төхөөрөмжүүд хүлээлтийн горимд орж, токеныг ээлжлэн эзлэх замаар өгөгдлийн дамжууллыг хийнэ. Сүлжээний дамжуулах орчинг эзлэх дарааллыг тогтоохдоо төхөөрөмжүүдийг давуу эрхтэй байхаар зохион байгуулна. Дамжуулалд үүссэн алдааг илрүүлж, засварлахдаа сүлжээний нэг цэг дээр үүсгүүрийн өгөгдлийн битүүдийн алдааг шалгана. Алдаатай үед бусад төхөөрөмжүүд тухайн өгөгдлийг хүлээж авахгүй байх токены дамжууллын протоколыг хэрэглэнэ. Алдааг тодорхойлсны дараа сүлжээгээр шинээр токены фреймийг илгээнэ. Дамжуулах орчныг шалгаад дахин дамжууллыг үргэлжлүүлэх зарчимтай.

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.