

Data communications

Lecture 5

Modulation and Manipulation techniques,
Types of techniques

Prof. Tuyatsetseg Badarch, PhD, MBA.

2022

Аналог өгөгдлийг аналог дохионд хувиргах

Зөөгч дохионы агуурга, фаз, давтамжийн аль нэгийг модуляцлагч дохионы хуулиар хувиргах замаар аналог өгөгдлийг шугамаар дамжуулахад тохиромжтой аналог буюу тасралтгүй дохио хэлбэрт хувирган дамжуулах аргыг аналог модуляц гэнэ.

Хэрэв зөөгч дохионы агуургыг модуляцлагч дохионы хуулиар хувиргаж байвал агуургын модуляц (АМ), зөөгч дохионы фазыг модуляцлагч дохионы хуулиар хувиргаж байвал фазын модуляц (ФМ), зөөгч дохионы давтамжийг модуляцлагч дохионы хуулиар хувиргаж байвал давтамжийн модуляц (ДМ) гэж нэрлэдэг болохыг бид мэднэ.

Аналог дохиог аналог хэлбэрт хувиргаж байгаа учир аналог модуляц гэж үздэг.

Өндөр давтамжийн дохиог модуляцлагч дохиогоор авч үзнэ.

Аналог дохионы хамгийн гол төлөөлөгч бол 0.3-3.4 КГц-ын зурваст спектр нь тархдаг хүний ярианы дохио юм. Өөрөөр хэлбэл, аналог модуляц хийснээр хүний ярианы нам зурвасын дохиог өндөр давтамжаар дамжуулна гэсэн үг.

2.2.3.1 Агуургын модуляц (АМ)

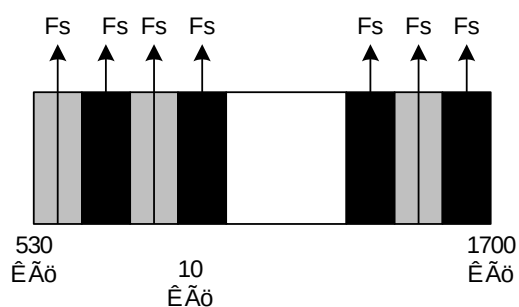
Агуургын модуляцтай дохионд шаардагдах нийт давтамжийн зурвасыг аудио дохионы давтамжийн зурвасыг (яриа ба хөгжим) хоёр дахин авснаар (2.7 томъёо) тодорхойлно.

$$F_{am} = F_{audio} \times 2 \quad (2.7)$$

Аудио дохионы зурвас гэдэг нь модуляцлагч дохионы зурвас болно. Агуургын аналог модуляцтай дохиог зөөгч дохио ба хоёр хажуугийн зурваст тархах дохиог хамт дамжуулах учир (2.7) томъёогоор шаардагдах зурвасын өргөнийг тодорхойлно.

Яриа ба хөгжмийн аудио дохионы зурвас ихэвчлэн 5 КГц хэмжээтэй. Эндээс АМ радио станцуудад (2.7) томъёогоор хамгийн багадаа аудио зурвасыг хоёроор үржүүлсэн 10 КГц зурвас шаардлагатай. FCC хорооноос АМ станцуудад 10 КГц-ыг зөвшөөрдөг. АМ станцууд нь 530 Гц-1700 КГц-ын хооронд зөөгч давтамжаа хуваарилна. Радио станц бүр нэг нь нөгөөгөөсөө 10 КГц зайтайгаар зөөгч давтамжууд сонгосноор интерференцийн нөлөөлөл үүсэхгүй.

Жишээлбэл нэг станц 1100 Гц-ын зөөгч давтамжтай бол нөгөө станцын зөөгч давтамж 1110 Гц байна. Зураг 2.10-д АМ радио станцын давтамжийн хуваарилалтыг дүрсэлсэн. F_s – АМ станцуудын зөөгч давтамжуудыг илэрхийлнэ.



Зураг 2.10 АМ дохионы зурвасын хувиарлалт

Дасгал 14.

4 КГц зурвастай аудио дохиог АМ модуляц хийхэд шаардагдах давтамжийн зурвасыг тооцоолъё.

Шийдэл:

АМ дохио нь (2.7) томъёоны дагуу үндсэн дохионы зурвасаас хоёр дахин их зурваст дамжигддаг.

$$F_{AM} = F_{audio} \times 2 = 4 \times 2 = 8 \text{ КГц гэж тооцогдлоо.}$$

2.2.3.2 Давтамжийн модуляц (ДМ)

Зөөгч дохионы давтамжийг модуляцлагч дохионы хуулиар хувиргаж байвал давтамжийн модуляц (ДМ) гэж нэрлэдэг. Зөөгч дохионы

хамгийн их агуурга, фаз тогтмол хэмжээтэй. Давтамжийн модуляцтай дохионд шаардагдах нийт давтамжийн зурвасыг тодорхойлохдоо аудио дохионы давтамжийн зурвасыг (яриа ба хөгжим) арав дахин авснаар (2.8) томъёогоор тооцно.

$$F_{am} = F_{audio} \times 10 \quad (2.8)$$

Аудио дохионы зурвас нь модуляцлагч дохионы зурвасаар хэмжигдэнэ.

Өргөн нэвтрүүлгийн стерео аудио дохионы зурвас ихэвчлэн 15 КГц хэмжээтэй. Давтамжийн модуляц хийж дохиог дамжуулдаг станцыг FM станц гэж бид нэрлэж заншсан. FM радио станцуудад хамгийн багадаа аудио зурвасыг арав дахин авснаар хамгийн багадаа 150 КГц зурвас шаардлагатай. FCC хорооноос FM станцуудад хамгийн багадаа 200 КГц-(0.2 МГц) зурвасыг зөвшөөрдөг. FM станцууд нь 88 Гц-108 МГц-ын хооронд зөөгч давтамжаа хуваарилна. Радио станц бүр нэг нь нөгөөгөөсөө 200 КГц зайтайгаар зөөгч давтамжуудаа сонгосноор интерференцийн нөлөөлөл үүсэхгүй. FM станц сонгосон бүсдээ сонгосон давтамжийн зурваст л радио дохио дамжуулах боломжтой. 88-108 МГц-ын зурваст 100 FM зурвас үүснэ.Эндээс 50 станц хугацааны ямар ч агшинд дамжуулалт хийх боломжтой. Станцын давтамж хооронд интерференц, давхцалт үүсгэхгүй байлгах үүднээс хоосон зурвас үлдээнэ.

Дасгал 15

4МГц зурвастай аудио дохиог FM модуляц хийхэд шаардагдах давтамжийн зурвасыг тооцоолъё.

Шийдэл:

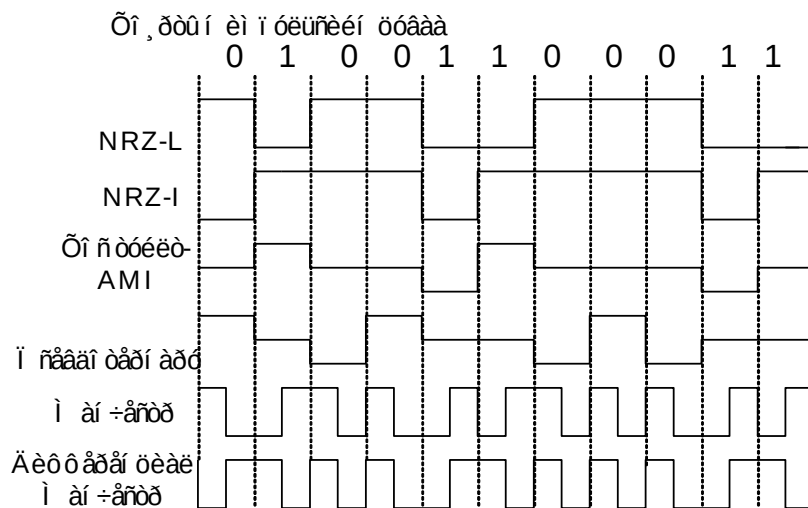
FM дохио нь (2.8) томъёогоор үндсэн дохионы зурвасаас арав дахин их зурваст дамжигддаг.

$$F_{AM} = F_{audio} \times 10 = 4 \times 10 = 40 \text{ МГц.}$$

2.2.4 Тоон өгөгдлийг тоон дохионд хувиргах

Компьютерээс өгөгдлийг хэвлэх төхөөрөмж рүү дамжуулах үед эх өгөгдөл ба дамжуулагдсан дохио хоёулаа тоон хэлбэртэй байна. Тоон өгөгдлийг тоон дохионд кодлох энэ аргын үед компьютерээр үүсгэгдсэн 1 ба 0-ийн битүүдийн цуваа хүчдэлийн импульсийн хэлбэрээр UTP, STP мушгиа хос кабелиар дамжина. Тоон өгөгдлийг тоон дохионд хувиргах кодлолыг өгөгдлийн сүлжээний дамжууллын хамгийн гол асуудал гэж үздэг. Кодлолын төхөөрөмж нь тоог аналог болгох модуляцын төхөөрөмжөөс илүү үнэ өртөгтэй, нийлмэл нарийн бүтэцтэй. Кодлолыг ганц туйлт (*unipolar*), туйлт (*polar*), хос туйлт (*bipolar*) гэж ангилж үздэг. Туйлт кодын төрлийг NRZ, RZ, хос фазтай код (дотроо олон төрөл) гэж ангилна. Хос туйлт кодуудад AMI, B8ZS, HDB-3 кодууд хамаарагдана.

Холбооны системээс хамаараад шугамын дохионы олон ялгаатай төрөл үүссэн. Эдгээр кодууд нь үүрэг, зориулалт, форматаараа ялгаатай бөгөөд дэвшилттэй болон дутагдалтай талуудтай. Зураг 2.11-д шугамын кодуудын форматыг үзүүлээ.

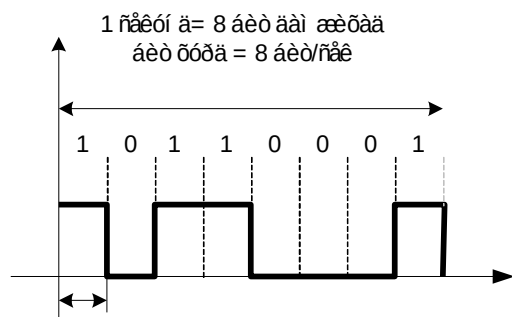


Зураг 2.11 Өгөгдлийн шугамын кодуудын формат

Өгөгдлийн үүсгүүрээс үүсгэгдсэн тоон хэлбэрийн $g(t)$ өгөгдөл $m(t)$ тоон шугамын дохионд хувиргагдана. Энэ хувиргалтыг кодлолын

процессоор илэрхийлнэ. Кодлолын сайн тал нь давтамжийн зурвасын ашиглалтыг сайжруулах, бит алдааг багасгах, дамжууллын найдваржилтыг дээшлүүлдэгт оршино. Аналог дохио нь үргэлжилсэн хэлбэртэй ба тогтмол давтамж бүхий зөөгчтэй. Модуляц нь тоон ба аналог дохиог зөөгч давтамжаар аналог дохионд хувиргадаг бол кодлолоор тоон өгөгдлийг шугамаар дамжихад тохиромжтой тоон дохионд хувиргана. Өгөгдлийн холбоонд хамгийн чухал нь кодлолын процессыг оновчтой хийх асуудал юм. Жишээлбэл, давтамжийн модуляцын аргаар цахилгаан соронзон долгионы хэлбэрт тархаж буй аналог дохио нь зөөгч дохиогоор давтамжийн хувьд нягтруулагдаж дамжигддаг. Холбооны аналог системд өргөн хэрэглэнэ. Өгөгдлийн системийн төхөөрөмжүүд нь өөрсдөө тоон мэдээллийн үүсгүүр болдог учир тоон холбооны системээр өгөгдөл дамжуулахад орчин үед тоон өгөгдлийг тоон дохионд хувиргах кодлолыг судлах нь маш чухал. Кодлолын үр дүнд үүсэх шугамын кодуудыг ганц туйлт, туйлт, хос туйлт гэж ангилдаг болохыг өмнө дурьдсан.

О-ийн түвшинг тооцохгүйгэр ганцхан хүчдэлийн түвшингээр тоон дохиог кодолж дамжуулах аргыг нэг туйлт кодлол гэж нэрлэнэ. Зураг 2.12-ээс харахад нэг туйлт кодоор өгөгдлийг 1 импульсийг эерэг хүчдэлийн түвшингээр, 0 импульсийг тэг хүчдэлийн түвшингээр дамжуулна. Уг кодын дундаж агуурга тэгтэй тэнцүү биш хэмжээтэй. Өөрөөр хэлбэл тэгийн түвшин үүсгэдэггүй код юм.



Зураг 2.12 Нэг туйлт кодлолын зарчим

Тоон дохионы үндсэн элементүүдэд нэгж битийн үргэлжлэл (t), бит хурд (V), бит алдааны хурд (BER), өгөгдлийн хурд (R), давтамжийн зурвас (W) хамаарагддаг. Эдгээр параметрууд нь өөр хоорондоо дараах хамааралтай.

- Өгөгдлийн хурд ихсэхэд бит алдааны хурд ихсэнэ. Бит алдааны хурд гэдэг нь алдаатай хүлээн авагдсан битийн байх магадлалаар тодорхойлогдоно.
- Дохио шуугианы харьцаа ихсэхэд бит алдааны хурд буурна.
- Давтамжийн зурвасын ихсэлт нь өгөгдлийн хурдны өсөлттэй шууд хамааралтай.

Зураг 2.12-ээс харахад нэг секундэд илгээж буй битүүдийн тоог бит хурд, нэгж битийг илгээхэд шаардагдах хугацааг бит үргэлжлэлийн хугацаа гэж тооцдог. Тоон дохионы тодорхойломжид дохионы үеийн оронд бит үргэлжлэл, давтамжийн оронд бит хурдны параметрыг авч үзнэ. Өгөгдлийг зайлшгүй кодолж дамжуулах ёстой, өөрөөр хэлбэл өгөгдлийн битүүдээс дохионы элементүүд рүү хувиргалт хийдэг.

Дараах төрлийн шугамын кодуудыг холбооны системд өргөн хэрэглэнэ. Үүнд

1. Тэг рүү үл буцах шугамын код (*NRZ-nonreturn to zero line code*)
 - a. (NRZ-L - *Non return -to-Zero-Level*)
 - b. (NRZ-I - *Nonreturn -to Zero -Invert on ones*)
2. Олон түвшинт шугамын код (*Multilevel Binary line code*)
 - a. Хос туйлт, 1 импульс инверслэгддэг шугамын код (*Bipolar - AMI - Bipolar Alternate Mark Inversion*)
 - b. 3 түвшинт, 0 импульс инверслэгддэг шугамын код (*Pseudoternary*)
3. Хос фазтай шугамын код (*Biphase Line Code*)
 - a. Манчестр код (*Manchester code*)

б. Дифференциал Манчестер код (*Differential Manchester mode line code*)

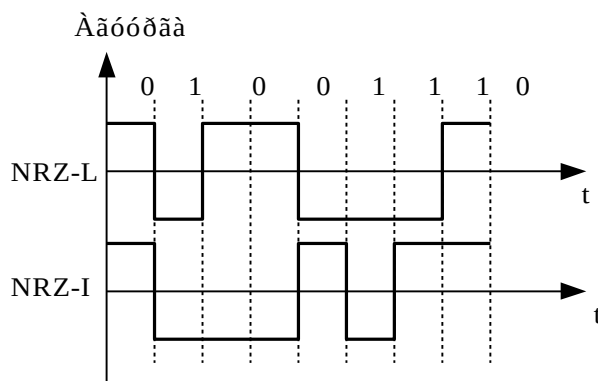
Хүснэгт 2.3-д шугамын кодуудын тодорхойломжуудыг нэгтгэж үзүүлэв.

Кодлолын форматуудын товч тодорхойлолт

Хүснэгт 2.3

NRZ-L:	0 битийн түвшин өндөр 1 битийн түвшин нам хүчдэлийн түвшингээр илэрхийлэгдэнэ.
NRZ-I:	0 бит дамжуулахад бит интервалын эхэнд битийн шилжилт хийхгүй. 1 бит дамжуулахад битийн шилжилттэй.
Хос туйлт AMI:	0 бит шугамын дохио биш. 1 бит эерэг ба сөрөг түвшинтэй, туйлын шилжилт хийгдэж дамжуулагддаг.
Псевдотернару код:	0 бит эерэг ба сөрөг түвшинтэй, туйлын шилжилт хийгдэж дамжуулагддаг.
Манчестр код :	0 бит орж ирэхэд өндрөөс нам түвшинд бит интервалын дунд хэсгээс туйлаа өөрчилнө. 1 бит орж ирэхэд нам түвшингээс өндөр түвшинд туйлаа өөрчилнө.
Дифференциал Манчестр:	Бит үргэлжлэлийн дундаас шилжилт хийнэ. 0 бит орж ирэхэд интервалын эхлэлд битийн шилжилт хийнэ. 1 бит орж ирэхэд интервалын эхлэлд битийн шилжилт хийхгүй.

NRZ-L кодоор өгөгдлийн терминалууд ба сүлжээний бусад төхөөрөмжүүдийн тоон дохионуудыг холбооны шугамаар алс зайд дамжуулахад тохиромжтой. Хэрэв дамжуулах системийн кодоор ялгаатай код ашиглагдаж байвал NRZ-L кодыг дамжууллын кодог дахин хувиргаж кодлоно. Жишээлбэл, NRZ-L кодыг тоон системийн



шугамын код болох HDB-3 кодог дахин кодлодог. Өмнөх зураг 1.1-ийн $g(t)$ NRZ-L код, $s(t)$ HDB-3 гэх мэт дахин кодлогдсон дохио байна. Зураг 2.13-д NRZ-L ба NRZ-I кодуудыг үзүүлсэн. Энэ хоёр кодын үед нэгж битийн үргэлжлэх хугацаанд хүчдэлийн түвшин тогтмол хэмжээтэй.

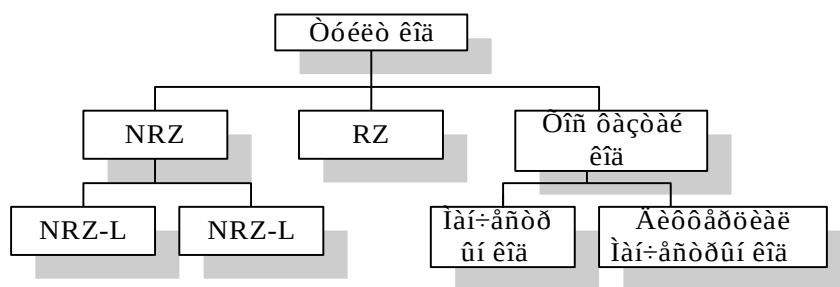
Зураг 2.13 Туйлт код NRZ-L, NRZ-I кодын формат

NRZ-I код нь дифференциал кодын жишээ юм. Дифференциал код гэдэг нь тухайн агшинд орж ирж буй кодыг өмнөх кодтой нь харьцуулж ялгаварыг нь кодлох зарчимтай код юм.

NRZ-I ба NRZ-L кодоор тоон дохиог кодолоход дамжуулах системийн схем техникийн шийдэл хялбар, давтамжийн зурвасыг сайн ашиглах боломжтой.

Давтамж нь өгөгдлийн хурдад нормчлогдсон тохиолдолд ихэнх энерги нь тогтмол нийлэгдэхүүн ба бит хурдны $1/2$ хэмжээ хоёрын хооронд хуваарилагддаг.

Жишээлбэл хэрэв 9600 бит/сек хурдтай өгөгдлийг NRZ кодоор дамжуулж байна гэж үзвэл дохионы ихэнх энерги нь тогтмол нийлэгдэхүүн ба 4800Гц давтамжийн

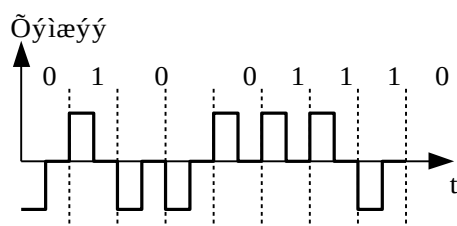


Зураг 2.14 Туйлт кодын ангилал

хооронд төвлөрдөг.

Зураг 2.14-д үзүүлсэн NRZ-L, NRZ-I, RZ, хос фазтай шугамын кодууд туйлт кодын бүлэгт хамаарагддаг. Зарчим нь тоон битийн бинар цувааг нэмэх, хасах туйлтайгаар кодолж дамжуулна гэсэн үг.

Зураг 2.15-д RZ кодын бүтцийг дүрсэллээ. RZ код нь нэгж битийг хоёр дохионы түвшингээр хувиргадаг тул харьцангуй их давтамжийн



зурвасыг шаарддаг код учир холбооны системд өргөн хэрэглэхгүй.

Зураг 2.15 RZ кодын формат

Дээрх кодын дутагдалтай тал нь их хэмжээний бит мэдээлэл дамжихад тактын синхрончлол алдагдана. Өөрөөр хэлбэл, NRZ-L кодын тохиолдолд үргэлжилсэн олон 1 ба 0, NRZ-I кодын үргэлжилсэн 0-ийн дамжууллын үед урт хугацаанд хүчдэлийн түвшин тогтмол байх хэрэгтэй байдаг.

Нэг төлөвийн битийн үргэлжилсэн цувааны дамжууллын үед үүсгүүр ба хүлээн авах төхөөрөмжийн хугацааны тактын хооронд өөрчлөлт гарч, синхрончлолын алдаанд хүргэдэг. NRZ кодуудыг ихэвчлэн тоон бичлэгийн төхөөрөмжүүдэд хэрэглэдэг. Иймд алсын холбооны

дамжууллын технологид олон дараалсан нэг ба тэгийн цувааг дамжуулахгүй байхын тулд NRZ-L, NRZ-I, AMI шугамын дохионуудыг HDB-3, B8ZS кодуудад дахин хувиргана.

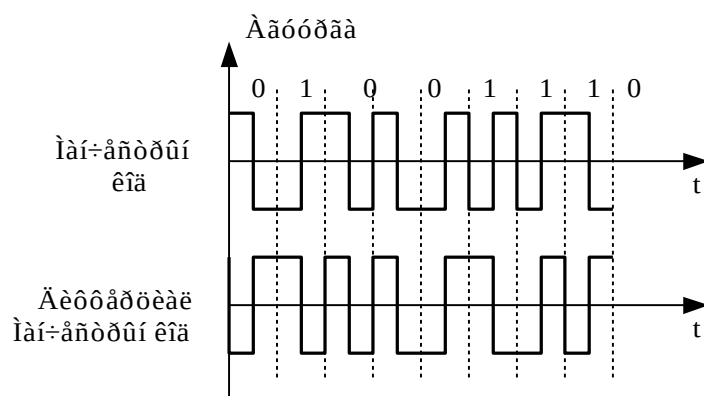
Олон түвшинт хоёртын кодууд

Эдгээр кодууд нь хоёроос олон түвшингээр өгөгдлийг кодлодог учир олон түвшинт гэж нэрлэгдсэн. Олон түвшинт кодуудад хос туйлт AMI, Псевдотернару кодууд багтах бөгөөд хос туйлт AMI кодоод хоёртын 0 импульс шугамын дохио биш (0 орж ирвэл шугамаар өгөгдөл дамжигдаагүй байна гэсэн үг) 1 импульсийг эерэг, тэг ба сөрөг туйлтай байх 3 түвшингээр илэрхийлж кодолнэ. Дараах хэд хэдэн сайн талуудтай:

1. Үргэлжилсэн нэг импульсийн үед тактын синхрончлол алдагдахгүй, 1 импульс орж ирэх болгонд битийн шилжилт хийдэг ба хүлээн авах хэсэгт тухайн шилжилт дээр дахин синхрончлол хийнэ. Үргэлжилсэн 0-ийн үед хүндрэл учирдаг.
2. 1 импульс нь эерэгээс сөрөг туйлд туйлийн буюу хүчдэлийн шилжилт хийдэг учир тогтмол нийлэгдэхүүн байдаггүй. Мөн хос туйлт AMI кодоор кодлогдсон дохионы давтамжийн зурвас нь NRZ кодыг бодвол нарийн байна.
3. Бит алдааг засварлахад схем техник энгийн, кодын засварыг импульсийг нэмэх, хасах замаар амархан шийддэг. Өндөр хурдтай өгөгдлийн кодлолд ашигладаг ба схем техник нь өндөр өртөгтэй ч чанар сайтайгаараа онцлогтой. Олон түвшинт жишээлбэл, 3 түвшинт кодлолын үед дохионы элемент бүхэн $L = \log_2 3 = 1.58$ мэдээллийн биттэй байх (2 түвшинтийн хувьд $\log_2 2 = 1$) ба энэ нөхцөлөөрөө NRZ кодтой харьцуулбал илүү тохиромжтой биш. Нөгөө талаас хүлээн авах төхөөрөмж нь дохионы хоёр түвшний оронд (+A, -A, 0) гэсэн 3 түвшинг үзүүлж байх хэрэгтэй. Дохионы чадал нь адилхан. Бит алдааны магадлалаар хоёрт түвшинт шугамын кодыг

бодвол их байдаг. Дохио шуугианы харьцаа (S/N)-ны ижил утгад NRZ кодын бит алдааны хурд нь олон түвшинт кодоос бага хэмжээтэй.

Хос туйлтай кодоос гадна хос фазтай шугамын кодуудын хамгийн өргөн хэрэглэгддэг кодуудад Манчестр, дифференциал Манчестр кодууд багтах бөгөөд Манчестр кодыг өгөгдлийн холбооны локаль сүлжээний дамжууллын үндсэн кодоор өргөн ашиглана. Зураг 2.16-д Манчестр кодын форматыг зурж үзүүлсэн. Өндөр хурдтай системд илүү тохиромжтой. Кодын тайлбарыг хүснэгт 2.3-д тодорхойлсон. Модуляцын үед NRZ кодоос 2 дахин их хурдыг шаарддаг. Нэгж битийн үргэлжлэлийн хугацаанд дор хаяж нэг удаа



Зураг 2.16 Манчестр ба дифференциал Манчестр кодууд

битийн туйлын шилжилт хийдэг онцлогтой. Энэ нь давтамжийн зурвас их шаарддаг,схем техникийн шийдэл нарийн төвөгтэй зэрэг дутагдалтай талуудтай. Дараах сайн талуудтай:

1. Хүлээн авах талд битийн шилжилт бүр дээр синхрончлол хийдэг.

Өөрөө синхрончлогддог кодууд гэж нэрлэгдэнэ.

2. Тогтмол нийлэгдэхүүнүүд байдаггүй.
3. Алдаа илрүүлж засварлахад маш сайн гүйцэтгэлтэй.

Хос фазтай кодуудыг өгөгдлийн холбооны үндсэн шугамын дохиогоор хэрэглэнэ. Манчестр кодыг каоксаль ба мушгимал хос утаст хэлхээний CSMA/CD протоколын дамжууллын IEEE 802.3

стандартын мод топологитой локаль сүлжээний дамжууллын кодоор төрөлжүүлэн ашиглана. Дифференциал Манчестр код нь гүйгч цагираг (*Token ring*) хэлхээ бүхий хамгаалалттай мушгиа хос (STP), хамгаалалтгүй мушгиа хос (UTP) дамжууллын хэрэгсэлт IEEE 802.5 стандартын локаль сүлжээний шугамын код гэж нэрлэнэ.

Тоон өгөгдлийг аналог дохионд хувиргах аргыг авч үзье.

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.

Агуурга солих модуляц (АСМ)

Зөөгч дохио нь 1 ба 0-ийн бинар цуваагаар илэрхийлэгдэнэ. Дохионы давтамж, фаз өөрчлөгдөхгүй, агуурга өөрчлөгдөнө. Зураг 2.6-д АСМ-ын үндсэн зарчмыг үзүүлсэн. Бит үргэлжлэх хугацааны туршид

дохионы хамгийн их хүчдэлийн утга тогтмол, 1 эсвэл 0 утга авах нь зургаас харагдаж байна.

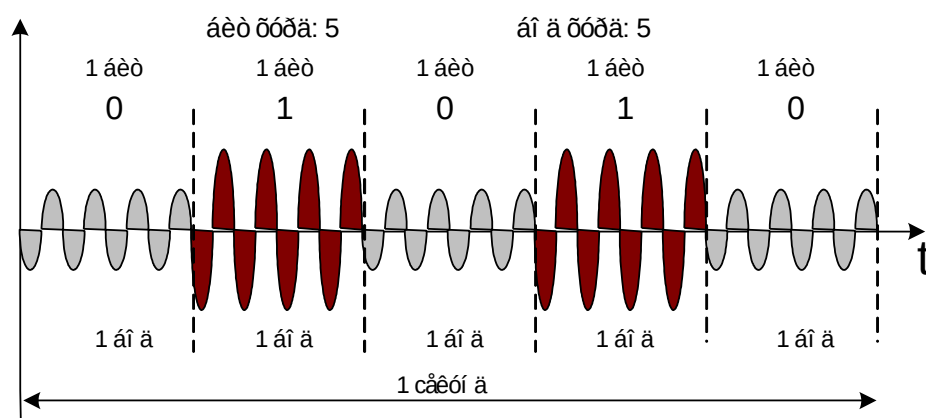
АСМ хэрэглэсэн дамжууллын хурд нь дамжууллын хэрэгслийн төрлөөс хамаарч хязгаарлагддаг. Шуугиан нь ихэвчлэн дохионы агуургад нөлөөлдөг учраас АСМ хийгдсэн дохио шуугианы нөлөөнд маш их өртөмтгий байдаг. Нэг битийн хэмжээ нь хүчдэлийн түвшингээр илэрхийлэгддэггүй учир мэдээллийг дамжуулахад шаардагдах энергийн хэмжээг бууруулдаг сайн талтай. АСМ хийх үед зөөгч давтамжийг давтамжийн зурвасын хагас дээр сонгоно. АСМ хийхэд шаардлагатай зурвасын өргөнийг (2.5) томъёогоор тодорхойлно.

$$F_{ASK} = (1 + d) \times N_{baud} \quad (2.5)$$

F_{ASK} – АСМ хийхэд шаардлагатай зурвасын өргөн

d – Шугамын нөхцөлтэй хамааралтай коэффициент (хамгийн бага утга 0)

N_{baud} – бод хурд



Зураг 2.6 Агуурга солих модуляцын зарчим

АСМ-ын хамгийн бага зурвасын өргөн F_{ASK} нь бод хурд D -тэй тэнцүү байна.

Дасгал 4.

2000 бит/сек хурдтай сувгаар тоон дохиог АСМ хийж дамжуулсан бол модуляц хийгдсэн дохионы шаардлагатай хамгийн бага давтамжийн зурвасыг олѐѐ. Дамжууллын горимыг нь хагас дуплекс гэж үзнэ.

Шийдэл :

АСМ-ын үед бод хурд, бит хурд тэнцүү болох нь зураг 2.6-аас харагдаж байна. Иймд бод хурд 2000 бод/сек. АСМ-ын үед хамгийн бага давтамжийн зурвас нь бод хурдтай тэнцүү. Иймд давтамжийн зурвас 2000 Гц.

Дасгал 5.

АСМ хийгдсэн дохионы давтамжийн зурвас 5000 Гц хэмжээтэй бол бод хурд ба бит хурдыг олѐѐ.

Шийдэл:

АСМ-ын үед хамгийн бага давтамжийн зурвас бод хурдтай тэнцүү. Иймд бод хурд 5000 бод/сек. АСМ-ын үед бод ба бит хурд тэнцүү болох нь зураг 2.4-ээс харагдаж байна. Иймд бит хурд 5000 бит/сек болно.

Дасгал 6.

Бүрэн дуплекс горимоор тоон дохиог АСМ хийж 10000 Гц (1000-аас 11000 Гц) зурваст дамжуулсан бол А-аас Б (шууд урсгал), Б-ээс А чиглэл (буцах урсгал) тус бүрийн зөөгч давтамжийг олѐѐ. Хоёр чиглэлийн зурвасын хооронд хамгаалах зурвас байхгүй гэж тооцно.

Шийдэл:

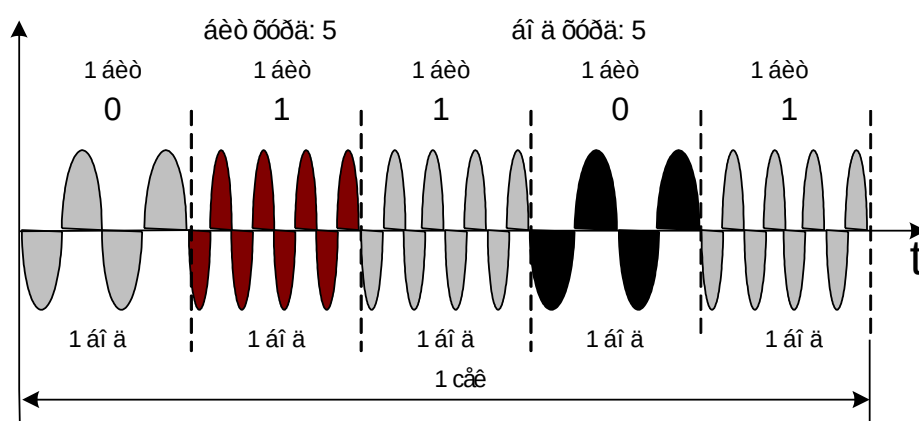
Бүрэн дуплекс дамжууллын үед нэг хугацаанд хоёр чиглэлд өгөгдөл дамжина. Жишээлбэл, хүний ярианы дохио хоёр чиглэлд нэг хугацаанд дамжигдана. Бүрэн дуплекс горимын АСМ үед чиглэл бүрийн зурвасын өргөн $F_{ASK} / 2 = 10.000 / 2 = 5000$ Гц.

Зөөгч давтамж нь зурвасын өргөний хагаст сонгогддог гэдгээс шууд чиглэлийн $F_{c.forward} = 1000 + 5000 / 2 = 3500$ Гц.

буцах чиглэлийн $F_{c.backbard} = 11000 - 5000 / 2 = 8500$ Гц зөөгч давтамжуудтай.

2.2.2.2 Давтамж солих модуляц (ДСМ)

Зөөгч дохионы давтамж хоёртын 1 ба 0 битээр илэрхийлэгдэнэ. Нэгж битийн үргэлжлэлийн хугацаанд дохионы давтамж тогтмол утга авна. Дохионы агуурга ба фаз тогтмол хэмжээтэй. ДСМ хийгдсэн дохиог хүлээн авч буй төхөөрөмж өгөгдсөн үеийн тоогоор давтамжаа өөрчилдөг учраас АСМ хийгдсэн дохионы адил шуугианы нөлөөнд өртдөггүй сайн талтай.



Зураг 2.7 Давтамж солих модуляцын зарчим

ДСМ хийгдсэн дохионы спектр нь f_{c0} , f_{c1} давтамжууд дээр төвлөрсөн хоёр АСМ-тай дохионы нэгдлээс тогтоно. АСМ-иар хувиргагдсан дохионы давтамжийн зурвасыг (2.6) томъёогоор тодорхойлно.

$$F_{FSK} = (f_{c1} - f_{c0}) + N_{baud} \quad (2.6)$$

f_{c1} – 1 битийг зөөгч давтамж

f_{c0} – 0 битийг зөөгч давтамж

F_{FSK} – ДСМ-тай дохионы зурвасын өргөн

N_{baud} – бод хурд.

Дасгал 7.

2000 бит/сек хурдтай ДСМ хийгдсэн дохионы хамгийн бага давтамжийн зурвасын өргөнийг олж. Дамжууллын горим хагас дуплекс гэж үзнэ. Зөөгч давтамжууд 3000 Гц-ээр зөрөөтэй.

Шийдэл: ДСМ-ийн онцлогоос хамаарч системийн бит ба бод хурд тэнцүү болох нь зураг 2.7-аас харагдаж байна.

$$F_{FSK} = (f_{c1} - f_{c0}) + N_{baud} \text{ гэдгээс } F_{FSK} = 2000 + 3000 = 5000 \text{ Гц.}$$

Дасгал 8.

Дамжуулах шугамын зурвасын өргөн 12000 Гц. Хоёр зөөгч давтамжийн ялгаа 2000 Гц. Бүрэн дуплекс дамжууллын горимын үед ДСМ-тай дохионы хамгийн их бит хурдыг олъё.

Шийдэл: Дамжууллын горим бүрэн дуплекс учраас чиглэл бүр $12000/2 = 6000$ Гц давтамжийн зурвастай.

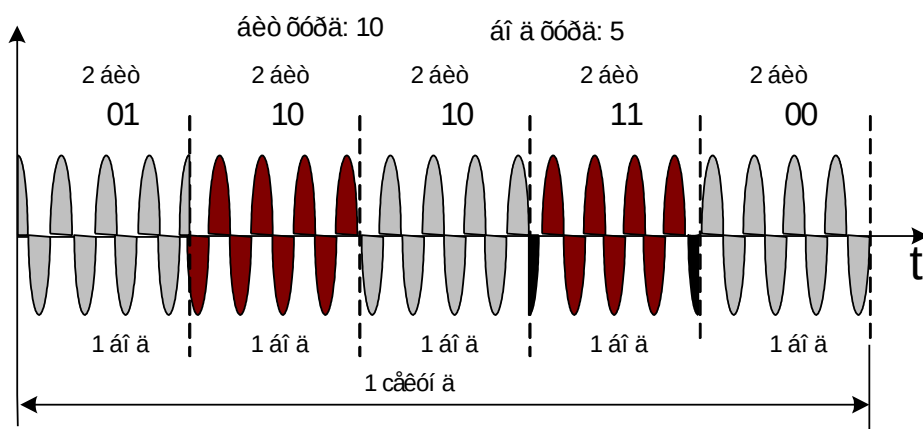
$$F_{FSK} = (f_{c1} - f_{c0}) + N_{baud} \text{ томъёоноос } N_{baud} = 6000 - 2000 = 4000 \text{ бод/сек.}$$

ДСМ системд бод хурд ба бит хурд тэнцүү учир 4000 бит/сек.

Давтамжийн нэг тогтмол утгаас нөгөөд шилжих өөрчлөлтийн үед зөвхөн нэг битийн өөрчлөлт хийгддэг учир бит хурд, бод хурд хоёр тэнцүү байна.

2.2.2.3 Фаз солих модуляц (ФСМ)

ФСМ-тай дохионы үндсэн зарчим нь зөөгч дохионы фаз 1 ба 0 битийн төлөвийг үзүүлнэ. Давтамж, агуурга тогтмол. Жишээлбэл, бид 0 фазтай дохиог 0 битээр илэрхийлбэл фазыг 180 градусаар эргүүлж, 1 битийг илгээнэ. Нэгж битийн үргэлжлэх хугацааны туршид дохионы фаз тогтмол, 0 ба 1 битийн төлөвтэй. Зураг 2.8-д 4-ФСМ-тай дохионы зарчмыг үзүүлсэн.



Зураг 2.8 4-фаз солих модуляцын зарчим

Зурагт дүрслэгдсэн 4-ФСМ хийгдсэн дохионы онцлог нь хоёр битийг нэг дохионы элементээр хувиргаж дамжуулсан нь харагдаж байна. Энэ нь давтамжийн зурвасыг багасгах сайн талтай. Бод хурд ба давтамжийн зурвас шууд хамааралтай хэмжигдэхүүнүүд юм.

Дасгал 9.

4 ФСМ дохионы битийн хурд 2000 бит/сек. Дамжууллын горим хагас дуплекс бол давтамжийн зурвасыг олъё.

Шийдэл:

4 ФСМ дохионы бод хурд нь бит хурдны хагастай тэнцүү болох нь зураг 2.8-аас харагдаж байна. Ийм учраас бод хурд 1000 бод/сек болно. ФСМ дохионы зурвасын өргөн бод хурдтай тэнцүү байхаар хуваарилагддаг гэдгээс зурвасын өргөн 1000 Гц гэж тооцологдоно.

Дасгал 10.

8 ФСМ модуляцтай дохионы давтамжийн зурвасын өргөн 5000 Гц. Модуляц хийгдсэн дохионы бит хурд ба бод хурдыг тооцоолъё.

Шийдэл:

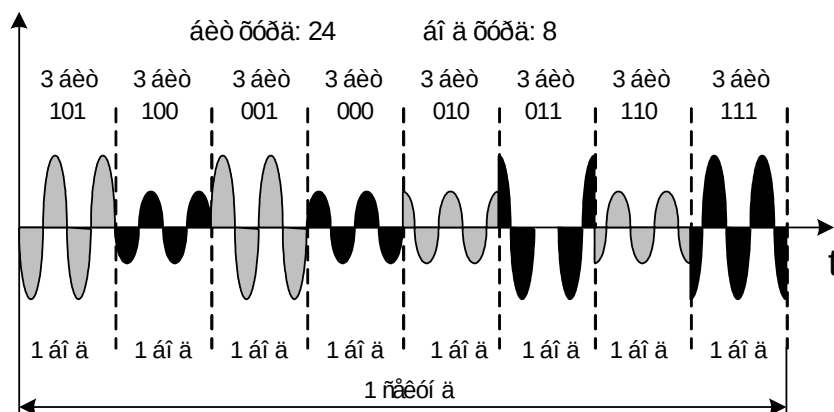
ФСМ дохионы бод хурд давтамжийн зурвастай эквивалент тэнцүү байдгаас бод хурд 5000 бод/сек байна. 8 ФСМ дохионы нэг бод хурдын утганд 3 бит оногдоно. Өөрөөр хэлбэл дохионы фазын нэг утга 3 битээр тодорхойлогддог. Энэ битийн ихсэлт нь модуляцлах хурдыг төдий чинээ ихэсгэхийг харуулна.

2.2.2.4 Квадратур агуургын модуляц (КАМ)

Өгөгдөл дамжуулах өндөр хурдад КАМ маш сайн гүйцэтгэлтэй. АСМ,ФСМ хоёрын нэгдлээс КАМ-ын аргыг гарган авсан. КАМ-ийг 4 КАМ, 8 КАМ, 16 КАМ, 32 КАМ, 64 КАМ, 128 КАМ, 256 КАМ гэж бит хурдаар нь ангилдаг.

Дээрх КАМ-ийн төрлүүд нь нэг бод хурдад ноогдох битийн тоогоор ялгагдах нэг онцлогтой. Дохионы фазын өөрчлөлтийг агуургын

хэмжээнд харьцуулсан харьцаагаар дохио шуугианы харьцааг тодорхойлно.



Зураг 2.9 8-КАМ хийгдсэн дохио

Жишээлбэл, 4 КАМ-ын үед 4 фазтай, 2 агуургатай. Эндээс харьцаа нь 4, 8 КАМ-ын үед 4 фаз, 2 агуургын хэмжээгээр тоон дохио тодорхойлогддог учир харьцаа 2. Эндээс практикт 4КАМ-ын үед шуугиан их үүснэ. Ийм учраас аль болох олон фаз үүсгэх замаар дохиог КАМ хийх нь практикт шуугианыг багасгах, системийн шуугиан даацыг сайжруулах, өгөгдлийн хурдыг ихэсгэх сайн талтай. КАМ -тай дохионд шаардагдах хамгийн бага зурвасын өргөний хэмжээ нь АСМ, ДСМ –тай дохионы зурвасын өргөнтэй адил байна. КАМ нь АСМ, ДСМ-уудын сайн талуудыг авч үлдсэн модуляцын төрөл юм. Иймд өндөр хурдтай системүүдэд ихэвчлэн КАМ модуляцын аргуудыг ашигладаг. Дохиог ДСМ хийж, телефон хэлхээгээр нэг секундэд 1200 бит дамжуулж байсан бол бит хурд нь 1200. Давтамжийн өөрчлөлт бүрээр нэг бит үүсч байна. Ийм учир бод хурд мөн 1200 бод/сек. Харин 8-КАМ хувиргалтын үед аналог дохионы агуурга, фазыг өөрчлөлт бүрийг 3 битээр илэрхийлнэ. Зураг 2.9-д 8-КАМ хийгдсэн дохиог дүрсэлсэн. 8КАМ дохионы бит хурд 1200 үед бод хурд гурав дахин багасч 400 бод/сек болно.

Тоон дохиог аналог дохионд хувиргах АСМ,ФСМ,ДСМ,КАМ төрлийн модуляцуудын бит хурд, бод хурдны хамаарлыг хүснэгт 2.2-д авч үзлээ.

Бит хурд , бод хурдны харьцаа

Хүснэгт 2.2

Модуляцын төрөл	Нэгж	Битүүд /бод	Бод хурд	Бит хурд
АСМ,ДСМ,2-ФСМ	Бит	1	N	N
4-ФСМ,4-КАМ	Дибит	2	N	2N
8-ФСМ,8-КАМ	Трибит	3	N	3N
16-КАМ	Квадбит	4	N	4N
32-КАМ	Пентабит	5	N	5N
64-КАМ	Гексибит	6	N	6N
128-КАМ	Септабит	7	N	7N
256-КАМ	Октабит	8	N	8N

Хүснэгтээс харахад жишээлбэл 4-ФСМ, 4-КАМ хийгдсэн дохиог дамжуулах систем дибит системд хамаарагдана. Бод хурд нь бит хурдны хоёр дахин багасгасан хэмжээтэй тэнцүү. 16-КАМ квадбит системийн бод хурд нь бит хурдны дөрөв дахин багасгасан хэмжээтэй тэнцүү.

Дасгал 11.

4800 бит/сек өгөгдлийн хурдтай 8-ФСМ системийн фазын зөрөө болон бод хурдыг тооцоолъё.

Шийдэл:

8-ФСМ системийн фазын диаграммаас харахад фазын зөрөө 45 градус. Энэ 45 градус тутамд 3 бит дамжигдах учир бод хурд нь бит хурдны гуравны нэгээр тодорхойлогдоно. $N_{baud} = 4800/3 = 1600$ элемент/сек буюу бод.

Дасгал 12.

1000 бод хурдтай 16-КАМ хийгдсэн дохиог дамжуулж буй сувгийн өгөгдлийн хурдыг олъё.

Шийдэл:

16-КАМ дохионы нэгж элемент бүрд 4 бит дамжигдана. ($2^4 = 16$)

Өгөгдлийн хурдыг олохдоо бод хурдыг нэгж элемент бүрд дамжигдах битийн тоогоор үржүүлнэ гэдгээс $1000 \times 4 = 4000$ бит/сек гэж тооцоолно.

Дасгал 13.

72 000 бит хурдтай 64-КАМ хийгдсэн дохио дамжуулж буй сувгийн бод хурдыг олъё.

Шийдэл:

64-КАМ хийгдсэн дохионы агуурга ба фазын өөрчлөлт хийх нэг утганд 6 бит дамжигдана. ($2^6 = 64$). Эндээс бод хурд $72.000/6 = 12.000$ элемент/сек буюу бод гэж тооцлоо.

Ашигласан материал

1. Tuyatsetseg badarch, "Fundamentals of Computer networks" , Third edition, 2016. Ulaanbaatar, Mongolia.
2. "Computer Networks: A Top-Down Approach," J. F. Kurose and K. W. Ross, 7th Edition, Addison-Wesley, 2017, ISBN: 9780133594140 or 9780134296135.
3. Behrouz A. Forouzan "Data communications and Networking ", 2 edition, McGraw-Hill, 2013, ISBN 7-302-04378-7.