

# Data communications

## Lecture 11

### Data channel error ARQ protocols

Prof. Tuyatsetseg Badarch, PhD, MBA.

## Фреймийн битийн алдаа засварлах арга

Алдаа илрүүлэх аргаас хамаарахгүйгээр илрүүлэгдсэн алдааг засварлах үндсэн хоёр аргыг ашиглана.

1. Үүсгүүр алдаатай өгөгдлийн нэгжийг дахин дамжуулах замаар алдааг засварлана.
2. Хүлээн авуур алдаа илрүүлэх кодын тусламжтай өгөгдлийн нэгжийн алдааг автоматаар засварлаж, зөв хүлээн авна.

Онолын хувьд алдааг автоматаар засварлах боломжтой. Алдаа засварлах кодууд нь алдаа илрүүлэх кодуудаас илүү боловсронгуй, олон нэмэлт битүүдийг шаардана. Эдгээр битийн тоо нь олон бит, эсвэл ганц бит засварлах уу гэдгээс хамаарч тоологдоно. Энэ аргыг хэрэгжүүлэхэд их тохиромжтой биш. Ийм учраас ихэнх алдаа засварлалт нэг бит, хоёр бит, гурван битийн алдаа илрүүлэх боломжтой байна.

Нэг бит алдаа засварлалтын нэмэлт бит нь парити бит болно. VRC алдаа илрүүлэх аргын парити битийн 1 ба 0 төлөвийн утгаар алдаагүй, алдаатай гэсэн хоёр л төлөвийг илэрхийлнэ. Нэгж тэмдэгтийн 7 битийн хувьд парити битийн алдаа илрүүлэлт хангалттай, харин алдаа засварлалт хангалттай биш.

Засварлахын тулд 7 битийн чухам аль бит алдаанд өртсөнийг мэдэх техник хэрэгтэй. Алдаа засварлалтын нууц нь хуурамч бит ба битүүдийн байрлалыг тогтоох асуудал.

Жишээлбэл ASCII кодын нэгж тэмдэгтийн алдааг VRC аргаар илрүүлнэ. Харин хэрхэн засварлахыг тайлбарлъя.

Нэг битийн алдааг засварлахдаа, алдаа засварлах код нь 8 битийн аль нь инверслэгдсэнийг мэдэх боломжтой байх ёстой. Энэ тохиолдолд нэмэлт 3 бит шаардлагатай. Эдгээр 3 бит (000-111 хооронд утга авах) 8 битийн ялгаатай төлөвүүдийг үзүүлж чадах учир алдааг засварлаж чадна. Хэрэв нэмэлт битүүд өөрсдөө алдаанд өртвөл яах вэ.

ASCII 7 бит, нэмэлт 3 бит нийлээд 10 битийн хувьд дээр 3 нэмэлт бит хангалтгүй .

Нэмэлт битүүд нь бүх боломжит алдааг засварлах гүйцэтгэлтэй байх хэрэгтэй.

Нэмэлт битийн тоог дараах томъёогоор тодорхойлно.

$r$  – нэмэлт битийн тоо

$m$  – өгөгдлийн битийн тоо

$r$  – ын тоо нь  $m$  – ын тоог засварлах хэмжээтэй байх ёстой ( $m + r + 1$ ). Дамжуулагдах бүх боломжит битийн тоо  $m + r$  хэмжээтэй.

Нэг төлөв нь алдаа байхгүй болохыг, нийт битийн  $m + r$  төлөв нь  $m + r$  байрлал бүрийн бит алдааны байрлалыг заах тул  $m + r + 1$  төлөв нь  $r$  – битээр дахин сэргээгдэх ёстой.

$r$  – бит нь  $2^r$  ялгаатай төлөвийг үзүүлнэ. Эндээс нэмэлт битийн тоог  $m + r + 1$  битийн тооноос тэнцүү буюу их байхаар сонгох хэрэгтэй.

$$2^r \geq m + r + 1$$

$r$  – бит  $m$  – ын дүүргэлтийн битээр тодорхойлогдоно.

Жишээлбэл ASCII кодын хувьд  $m = 7$  бит, үед дээрх нөхцөлийг хангах  $r$  – битийн тоо 4.

Шалгаж үзье.  $r$  – битийг 1-ээс 3 хүртэл тоогоор авбал дээр тэнцэтгэл биелэхгүй.  $r$  – битийг 5 түүнээс ихээр сонговол тэнцэтгэлийн хамгийн тохиромжтой нөхцөл тэнцүү буюу их байх чанар алдагдана.  $r$  – ийг 4-тэй тэнцүү сонгох нь хамгийн тохиромжтой.

$$2^4 \geq 7 + 4 + 1$$

Зарим өгөгдлийн  $m$  – өгөгдлийн блок, түүнтэй хамааралтай  $r$  – битийн тоог хүснэгт 3.1-ээр авч үзье.

$m$  ба  $r$  битүүдийн хамаарал Хүснэгт 3.1

$m$	$r$	$m + r$
1	2	3
2	3	5
3	3	6
4	3	7
5	4	9
6	4	10
7	4	11

Эрдэмтэн Р.В. Хэмминг практикт өргөн хэрэглэгддэг алдаа засварлах кодыг нээсэн. Практикт Хэммингийн кодын зарчмаар өгөгдлийн блокод үүссэн нэг битийн болон бүлэг битийн алдааг автоматаар засварлах боломжтой.

### 3.6 Өгөгдлийн сувгийн алдааны хяналтын протокол (Error control protocol)

Урсгалын хяналтын протокол фреймийн битүүдийн алдааг илрүүлэх үүрэгтэй бол алдааны хяналтын протокол нь үүсгүүр ба хүлээн авуурын хооронд багцуудыг солилцох дараалал, фреймийн дамжих дарааллыг тогтоох үүрэгтэй.

Мэдээлэл зөөгч фреймийн дамжууллын дарааллын протоколыг алдааны хяналтын ARQ протокол гэж нэрлэдэг.

### 3.6.1 Фреймийн алдаа хяналтын ARQ протоколын зарчим, ангилал

Өгөгдлийн багцын фреймийн дараалал болон фреймийн битүүдийн алдаанд хяналт хийж, сүлжээний найдвартай дамжууллыг хангах зарчмыг алдаа хяналтын ARQ протоколоор нарийвчлан тогтоодог. Системийн хурдыг тодорхойлох үндсэн техник болно.

Энэ протокол фреймийг алдаанд өртөхөөс хамгаалах зорилгоор нэгж багцуудын дамжуулалд дараалал тогтоож өгсөн.

Багц холболттой өгөгдлийн сүлжээний замчлалын аргаас үл хамаарч, хүлээн авах хэсэгт үүсгүүрээс илгээгдсэн өгөгдөл дарааллаараа хүлээн авагдах зарчимтай.

Фреймийг алдаанаас нь хамааруулж, хаягдсан фрейм (*Lost frame*) ,бит алдаатай фрейм (*Damaged frame*) гэж ангилна.

- Хаягдсан фрейм гэдэг нь фрейм доторх битүүд алдаагүй боловч системийн тоног төхөөрөмжийн багтаамж, дамжуулах хэлхээний шуугианаас шалтгаалж, өөр замчлалаар дамжигдсанаас болж, дамжуулагдсан нэг төрлийн мэдээллийг зөөгч фреймийн зарим нь өөр замаар дамжигддаг. Хүлээн авах хэсэгт дамжигдаж ирдэггүй, хаягдсан байдаг.
- Бит алдаатай фрейм гэдэг нь хүлээн авах төхөөрөмжид мэдээллийн фреймүүд бүгд дамжигдаж ирсэн ч фреймийн зарим битүүд инверслэгдэж, алдаанд өртсөн байдаг.

Алдаа хяналтын ихэнх аргууд нь дараах зарчмуудаар тодорхойлогдоно.

1. Алдаа илрүүлэлт (*Error detection*): (Өмнө тодорхойлсон.)
2. Өмнөх фреймүүдийг алдаагүй хүлээж авсан ба өгөгдлийн дараагийн фреймийн дамжууллын зөвшөөрлийн багц АСК-ыг дамжуулна. Фреймүүдийг В хүлээн авуур хүлээн авсны дараа, амжилттай хүлээн авсныг илэрхийлэх богино урттай фреймийг А-руу дамжуулна.

3. Тодорхой хугацааны дараах дахин дамжуулал (*Retransmission after time out*): Нэвтрүүлэх төхөөрөмж нь тодорхой хугацаанд АСК фреймийг хүлээн аваагүй үед өмнөх фреймийг дахин дамжуулна.
4. Үл зөвшөөрлийн буюу дахин дамжууллыг шаардсан хүсэлтийн богино багц (*NACK & retransmission*): Фреймийг алдаатай хүлээн авсны дараа хүлээн авуур дахин дамжууллыг хүссэн NACK богино фреймийг А-руу дамжуулна. Энэ тохиолдолд А төхөөрөмж фреймийн дахин дамжуулалтыг гүйцэтгэнэ.

ARQ протоколоор эдгээр фреймийн дамжууллын зарчмуудыг тодорхойлно.

Өгөгдлийн сүлжээнд ARQ- протоколын дараах 3 хувилбар стандартчилагдсан.

- a. Зогсолт-хүлээлт ARQ (*Stop-and-wait ARQ*)
- b. N-дүгээр фрейм рүү буцах холболтот ARQ (*Go-back N ARQ*)
- в. Сонгох давталттай ARQ (*Selective Reject ARQ*) (Бүлэг 3-т тодорхойлсон)

### **3.6.2 Зогсолт- хүлээлт ARQ протокол (Stop-and-wait ARQ)**



Энэ аргын зарчим нь А мэдээллийн фреймийн нэг хувийг Б хэсгээс тухайн фреймийн багц иртэл хадгалж байна. Зураг 3.18-д үндсэн зарчмыг тодорхойлсон.

Хоёр дахь алдаа нь алдаатай АСК багц Б-ээс А-д дамжигдаж ирнэ.

А фрейм дамжууллаа. Б төхөөрөмж дээр уг фрейм зөв хүлээн авагдаж, АСК багц А-руу дамжигдана. Уг АСК богино фрейм дамжууллын явцад алдаатай болж, А-аар танигдахгүй болсон үед А өмнөх фреймийн дахин дамжуулал хийнэ. Энэ хооронд тодорхой хугацааны тасалдуулга гарна. Дахин дамжуулсан фреймийг хуулбар фрейм гэж нэрлэнэ. Хүлээн авуурт яг адилхан хоёр фрейм дамжигдаж ирнэ. Үүнээс зайлсхийхийн тулд тухайн ижил фреймүүдийг 0 ба 1-ээр түвшинчлээд АСК0, АСК1 төрлөөр хариу багц илгээдэг.

Зогсолт -хүлээлт ARQ-ын зарчмын сайн тал нь энгийн. Шугам ашиглалтын хувьд тохиромжтой фрейм дамжуулах арга биш.

Шилжих цонхтой урсгалын хяналтын арга нь харьцангуй шугам ашиглалтын хувьд илүү тохиромжтой.

Орчин үеийн өндөр хурдтай Интернет сүлжээний фреймийн битүүдийн урсгалын хяналтын алдаа хяналтыг шилжих цонхтой протоколын гүйцэтгэлээр тодорхойлдог.

### **3.6.3 Буцах холболтот ARQ протокол**

Буцах холболтот ARQ протокол сүлжээний төхөөрөмжүүдийн хооронд өгөгдлийн дамжууллыг хэрхэн ямар дарааллаар зохион байгуулахыг тодорхойлдог нэг төрлийн алдаа хяналтын арга юм.

Ихэнх тохиолдолд буцах холболтот ARQ дамжууллын зарчмыг шилжих цонхтой урсгалын хяналт протоколоор тодорхойлно.

ARQ протоколын ерөнхий зарчмыг авч үзье. Зураг 3.20-д буцах холболтот дамжууллын хяналтын протоколын зарчмыг зургаар дүрслэн үзүүлсэн.

А-г үүсгүүр төхөөрөмж, Б-г хүлээн авах төхөөрөмж гэж үзлээ. Алдаа хяналтын энэ арга А-аас фреймүүдийг тодорхой хэмжээтэйгээр дараалуулан илгээнэ. АСК -гүй фреймүүдийн тоог шилжих цонхтой урсгалын хяналтын цонхны хэмжээгээр тодорхойлохгүй. Фрейм алдаагүй дамжигдсан тохиолдолд Б дараагийн фреймийг хүлээн авахад бэлэн гэсэн (*RR receive ready*) фреймийг дамжуулна. Харин фреймд гарсан битүүдийн алдааг Б илрүүлсэн үед А руу фреймийг алдаатай хүлээн авсныг илэрхийлэх (*REJ*) богино фреймийг дамжуулна. *REJ* хийсэн фреймийн дахин дамжууллын фреймийг А зөв хүлээн авах хүртэл Б хүлээн авуур уг алдаатай ирсэн фрейм ба түүнээс хойшхи бүх фреймүүдийг шууд хаяна. А хэсэгхэн хугацаанд алдаатай фреймийн дахин дамжууллыг хийж дуусгадаг.

А үүсгүүр В-руу фреймүүд дамжуулж байя гэж үзье. Фрейм дамжуулал бүрийн дараа А фреймийн дамжсан эсэхийг шалгах АСК-ын таймерыг ажиллуулдаг. Буцах холболтот ARQ протоколоор дараах санамсаргүйгээр үүсэх алдаануудыг тооцсон байна. Эдгээр төрлийн алдаанууд үүссэн тохиолдолд ARQ протоколоор хэрхэн засварлах аргуудыг тодорхойллоо.

1. Алдаатай фрейм : 3 тохиолдол байна.

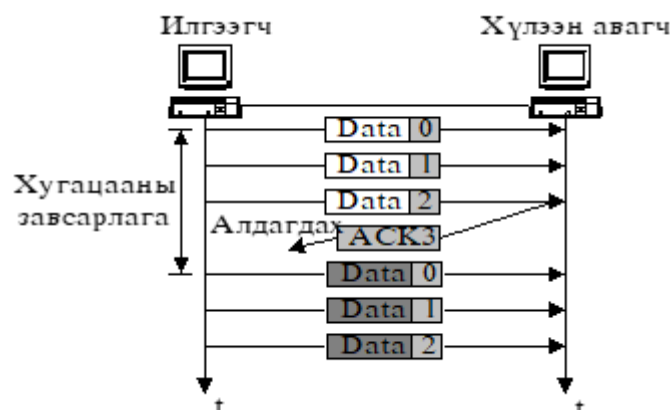
а. А  $i$  фрейм дамжуулна. Б алдааг илрүүлнэ. Б-ээр өмнө нь амжилттай хүлээн авсан фрейм ( $i-1$ ).  $i$  фрейм алдаатай үед А Б -ын илгээсэн REJ багцыг хүлээн аваад  $i$  эх фрейм ба түүнээс хойш дамжуулсан бүх фреймүүдийг дахин дамжуулна. Энэ алдааг засах арга нь ARQ протоколын нэг зарчим болно.

б. Фрейм  $i$ -ын зарим битүүд дамжууллын явцад алдаатай дамжигдсан. Энэ үед А ( $i+1$ ) фреймийг дамжуулахад хүлээн авуурт ( $i+1$ ) фрейм дарааллаас гарна. Хүлээн авуур Б  $i$ -ын дахин дамжууллыг хүссэн REJ багцыг илгээнэ. А  $i$ , түүнээс хойшхи бүх фреймүүдийг дахин дамжуулах шаардлагатай болно.

с. Фрейм  $i$  дамжууллын явцад алдаатай болсон. Энэ үед А дахин тодорхой хугацаанд дараагийн фреймийн дамжууллыг гүйцэтгэхгүй тохиолдолд Б ямар нэг фрейм хүлээн аваагүй учир RR ч юм уу REJ багцуудыг дамжуулахгүйгээс А -ын таймерын төхөөрөмжийн тоолох хугацаа дуусаж, Б руу автоматаар Р бит нь 1 гэсэн төлөвтэй байх REJ фреймийг илгээнэ. Б REJ-ын Р-ын 1 битийн төлвөөр өмнө нь А-аас фрейм ирснийг ойлгож, А руу REJ богино фреймийг илгээнэ.

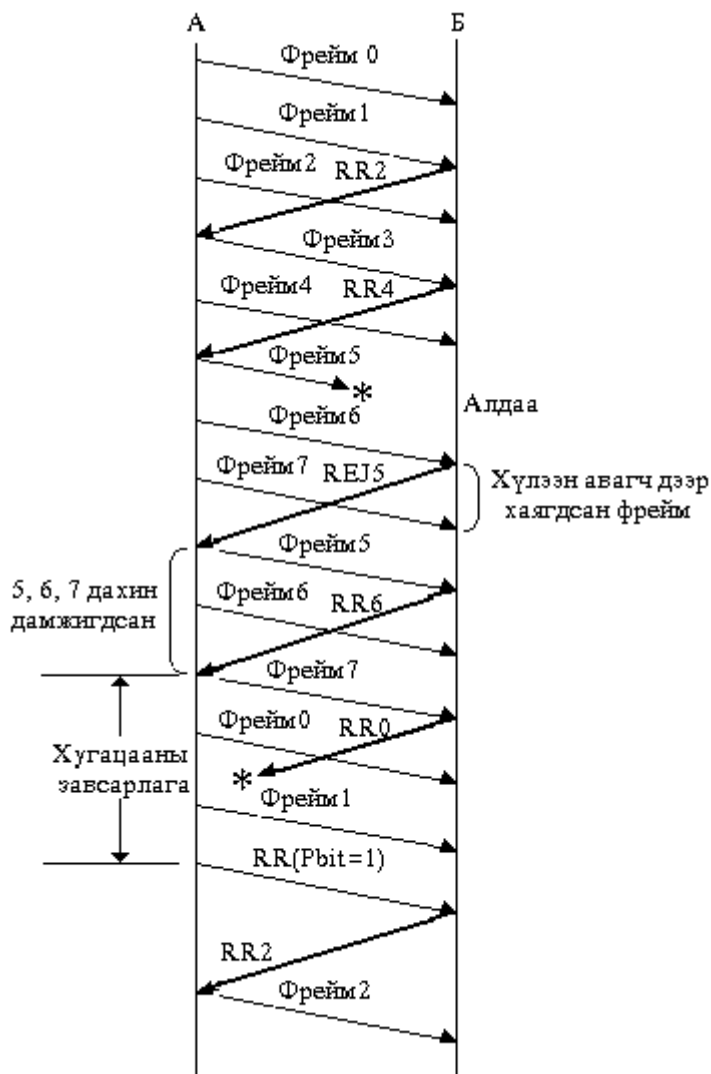
А фреймийн дамжууллыг гүйцэтгэнэ.

3. Алдаатай дамжигдсан RR: Хоёр тохиолдол байна.



Зураг 3.19 Go-back-N, алдаатай АСК фреймын жишээ

Зураг 3.19-д АСК богино багцын алдаатай хүлээн авагдах дамжууллын алдааг



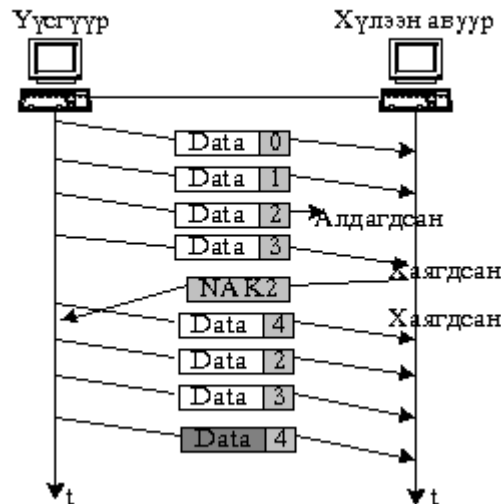
дүрсэлсэн. АСК 3 алдаатай бол өмнөх багцууд бүгд дахин дамжигдана.

Зураг 3.20 Буцах холболтот дамжууллын хяналтын протоколын зарчим

а. Б  $i$  фреймийг хүлээн аваад  $RR(i+1)$  фреймийг илгээнэ. Яагаад гэвэл бататгал багцууд нэгдмэл дараалалтай. А нь  $RR$  багцуудыг тодорхой дараалалтайгаар хүлээн авах ба энэ нь таймерын төхөөрөмжийн тоолох хугацаа дуусахаас өмнө хүлээн авуураас ирэх ёстой.

б. Хэрэв А-ын таймер унахад 16 тохиолдлын адил  $RR$  команд дамжигдана. А үүсгүүр P-бит таймер гэж нэрлэгдэх таймертай холбогдож, хэрэв Б уг  $RR$  командыг хүлээж аваагүй бол А-ын P-бит таймер унана.

Энэ тохиолдолд А дахин шинэ  $RR$  командыг илгээж, P-бит таймераа



Зураг 3.21a Go-back-N, алдаатай өгөгдлийн фреймийн дамжуулал

залгана. Олон давтан энэ амжилтгүй дамжууллын дараа А фреймийн дамжууллыг шинээр эхлүүлнэ.

3. Алдаатай дамжигдсан *REJ*: Хэрэв *REJ* фрейм алдагдвал санамсаргүйгээр үүсэх алдааны 1с-тай адил фреймийн дамжуулалтай.

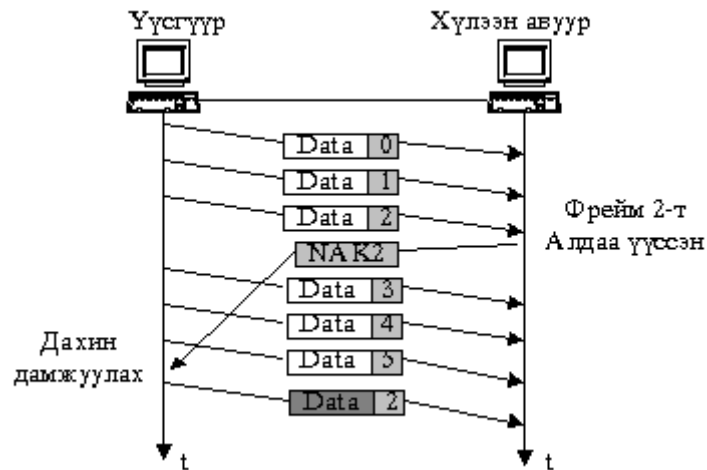
Зураг 3.20-г буцах холболтот фреймийн урсгалыг ARQ протоколын зарчмыг жишээгээр авч үзлээ. Шугамд тархалтын саад байдгаас тухайн хугацаагаар бататгал АСК багцууд үүсгүүрт дамжигдаж ирэх үед хоёр фреймийг А дамжуулчихсан байна. Фрейм 5 алдаатай дамжигдаж Б *REJ5*-г илгээхэд, А аль хэдийн 5,6,7-р фреймүүдийг дахин дамжуулчихсан байна. Хүлээн авуур бүх бататгалгүй фреймүүдийн хувийг санах ойдоо хадгалж байна. А 0-р фреймээ илгээгээд *RR1*-г буцаана. Дараа нь 1,2,3,4,5,6,7,0 фреймүүдийг илгээгээд *RR1*-г хүлээн авна. Энэ нь дээрх 8 фреймүүд алдаагүй зөв хүлээн авагдаад фреймүүдийг үнэн зөв хүлээн авсныг илэрхийлж, нэгтгэсэн *RR1*-г илгээнэ. Хэрэв дээрх 8 фреймүүд алдаатай хүлээн авагдвал хүлээн авуур өмнөх *RR1*-г дахин дамжуулна.

Зураг 3.21a-д үзүүлснээр хүлээн авуурт багцууд дарааллаараа хүлээн авагдахгүй аль нэг багцийн битүүд алдаатай болсон тохиолдолд (жишээ нь зурагт өгөгдлийн багц 2 дамжууллын явцад алдаатай болсон) алдагдсан тохиолдолд дараагийн багцыг хүлээн авахгүй. Алдаатай фреймийн хариу NACK богино багцыг илгээгээд, уг багцаас эхлэн дараагийн бүх багцуудыг дахин дамжуулна.



Энэ протоколын зарчим нь А зангилаа зөвхөн NACK-аар буцаж тэмдэглэгдсэн фреймүүдийг дахин дамжуулдаг. Энэ протокол нь буцах холболтот буюу гэдрэг холболтот протоколоос илүү дамжууллын гүйцэтгэлтэй. Яагаад гэвэл фреймүүдийн хэд дахин цөөн дахин дамжууллыг хийнэ. Нөгөө талаар хүлээн авуур нь алдаатай фрейм хүлээн авах хүртэл *SREJ* фреймүүдийг хадгалах хангалттай санах ойг үүсгэнэ. Энэ нь фреймүүд дарааллаараа бус ирсэн тохиолдолд тэдгээр фреймүүдийг хүлээн авах зөв дараалалд шилжүүлнэ. Иймд багцын фреймийн эх үүсгүүр гаралтын фреймүүдийн дарааллыг илүү нарийн бүтэцтэйгээр дамжуулах логикуыг барих ёстой. Үүгээрээ буцах холболтот протоколоос бага гүйцэтгэлтэй.

Зураг 3.22-д үзүүлснээр багцын фреймийн битүүд алдаатай дамжигдахад түүнийг мэдэгдэх NACK богино фреймийг зайлшгүй дамжуулна. Үүсгүүр NACK 2 богино багцыг хүлээж аваад, 3 багцыг дамжуулсны дараа



Зураг 3.22 Selective-reject горимын эвдэрсэн өгөгдлийн фрейм дахин фрейм 2-ын дамжууллыг гүйцэтгэнэ.

Цонхны хэмжээний хязгаарлалт нь буцах холболттой протоколоос илүү нарийвчлалтай.

3 бит дарааллын дугаар хэмжээтэй сонгох-давталт протоколыг авч үзвэл цонхны хэмжээ 7 нөхцөлд дараах дүрслэлийг үзүүлнэ.

1. А үүсгүүр 0-ээс 6 хүртэлх дугаарлагдсан 7 фреймийг В зангилаа руу илгээнэ.
2. Зангилаа В эдгээр 7 фреймийг хүлээж аваад, нэгтгэсэн ганц RR7 бататгал богино багцыг А-руу илгээнэ.
3. Шуугианаас шалтгаалж, RR7 фреймийн битүүд алдаанд өртсөн.

4. А хугацааны завсарлага үүсгэж, фрейм 0-г дахин дамжуулна.
5. В аль хэдийн 7,0,1,2,3,4,5 хүлээж авсан цонх үүсгэх учраас фрейм 7 алдаатай дамжигдсан, дахин дамжигдаж ирсэн 0 фреймийг хүлээгээд авчихсан фрейм 0 болохыг ойлгоно.

Протоколын ашиглалтын цааших дүрслэлээр нэвтрүүлж буй ба хүлээн авч буй цонхнуудын хооронд захын хэсгүүдээрээ дарагдалт үүсэх боломжтой. Энэ асуудлаас гарахын тулд цонхны хамгийн их хэмжээг дарааллын дугаарийн хагасаас илүүгүй сонгох хэрэгтэй. Дээрх дүрслэлд хэрэв зөвхөн 4 бататгал багцгүй фреймүүд хүлээн авуурт эхнийхээрээ зөв танигдана.

Ерөнхий тохиолдолд  $k$  бит дарааллын дугаартай хэсэгт дарааллын дугаарийн зэрэг нь  $2^k$  хамгийн их цонхны хэмжээ  $2^k-1$ -ээр хязгаарлагдана.

### **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.