

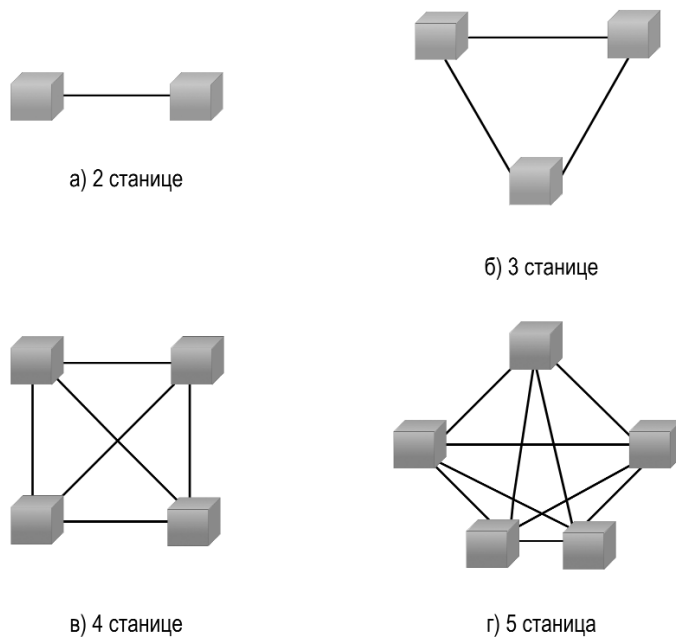
2. Комутационе технике

У најједноставнијем облику комуникације се обављају између два уређаја која су директно повезана неком врстом тачка-тачка трансмисионог медијума. Обично је непрактично за два уређаја да буду директно повезана тачка-тачка. Разлози су следећи:

- уређај је веома далеко. Било би превише скупо, на пример, доделити посебну линију између уређаја стотинама километара удаљених један од другог;
- постоји више уређаја и сваки од њих може да захтева везу са другима у различитим тренуцима времена. Пример су сви телефони или рачунари у свету, или некој организацији.

Да бисмо разјаснили проблем који се јавља као последица друге тачке посматраћемо појам топологије. Топологија се, у овом контексту, односи на начин на који је више уређаја међусобно повезано преко комуникационе везе (линка). Посматрајмо ситуацију са више уређаја који захтевају више веза. Зашто се не би обезбедила тачка-тачка веза између свих њих?

Проблем са оваквим приступом илустрован је на слици 2.1. Сваки уређај има тачка-тачка везу са сваким другим уређајем. Ово се назива потпуно повезана или „меш¹” топологија. Уколико има k уређаја захтева се $k(k-1)/2$ потпуни дуплекс веза, и сваки уређај



Слика 2.1 Потпуно повезане станице

¹ Mesh

2. Комутационе технике

захтева $k-1$ улазно/излазних (У/И) портова. Тако цена система посматрајући кабловску инсталацију и хардвер расте с квадратом броја уређаја.

Мане оваквог решења су јасне. Решење овог проблема је повезивање уређаја на комуникациону мрежу. Слика 2.2 илуструје концепт на генералан начин. Имамо скуп уређаја који треба међу собом да комуницирају; уопштено ћемо их назвати станице¹. Станице могу бити рачунари, терминали, телефони или други комуникациони уређаји. Свака станица се прикључује за мрежни чвор. Скуп чворова на који се прикључују станице је граница комуникационе мреже која је подесна за размену података између парова прикључених станица.

Комуникациона мрежа:

- не води рачуна о садржају података који се размењују између станица¹; наме­на је једноставно да пренесе податке од изворишта до одредишта,
- обезбеђује деобу трансмисионих уређаја између многих станица чиме се смањују трошкови које направи било који пар станица. Такође, један У/И порт је потребан свакој станици, а не $k-1$.

Комуникационе мреже могу бити категоризоване у зависности од архитектуре и технике које се користе за пренос података. Типови мрежа који су у употреби су:

- комутиране комуникационе мреже²,
 - мреже са комутацијом канала³,
 - мреже са комутацијом порука⁴,
 - мреже са комутацијом пакета⁵,
- комуникационе мреже један ка свима⁶,
 - радио-мреже,
 - сателитске мреже,
 - локалне рачунарске мреже.



Слика 2.2 Повезивање преко комуникационе мреже.

¹ У литератури се користе и термини крајња станица или хост.

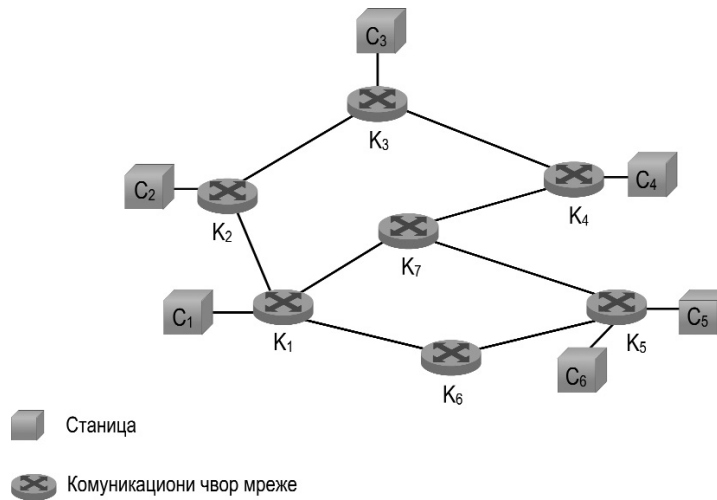
² *Switched communication network*

³ *Circuit switching network*. Користе термини: комутација канала, линија, веза или кола. У овом уџбенику користећемо најчешће термин комутација канала.

⁴ *Message switching network*

⁵ *Packet switching network*

⁶ *Broadcast communication network*



Слика 2.3 Комутирана комуникациона мрежа

Комутирана комуникациона мрежа састоји се од међусобно повезаних скупова чворова, у којима се подаци преносе од изворишта до одредишта рутирањем кроз чворове. Слика 2.3 је илустрација тог концепта.

Чворови су везани преко трансмисионих (преносних) путева. Подаци који долазе у мрежу из станице усмеравају се (рутирају) ка одредишту комутацијом од чвора до чвора. На пример, подаци из станице 1 (C_1) који треба да дођу до станице 5 (C_5) шаљу се се ка чвору K_1 . Он затим може да пошаље податке преко чворова K_2 , K_6 или K_7 ка чвору K_5 за који је везана одредишна станица C_5 .

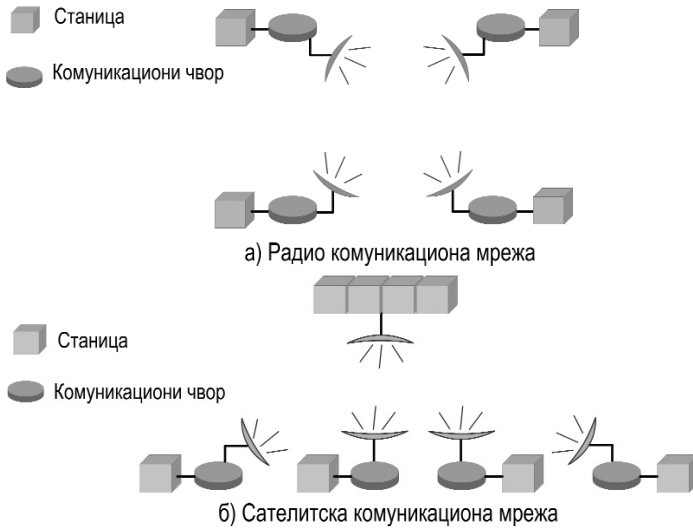
За комутиране комуникационе мреже са комутацијом канала, порука и пакета следећа опажања су битна:

- Поједини чворови повезују само друге чворове (нпр. K_6 и K_7). Њихов задатак је да интерно (у мрежи) усмеравају (комутирају) податке. Други чворови имају прикључену једну (или више) станица. Поред комутирајућих функција такви чворови прихватају и прослеђују податке од и ка прикљученим станицама;
- Везе чвор-станица искључиво су намењене за повезивање тачака. Чвор-чвор везе су обично мултиплексиране везе које користе технике фреквенцијског мултиплекса - FDM¹ или временског мултиплекса - TDM². За чворове који су удаљени мултиплексирање значајно смањује цену преноса у поређењу са везом искључиво посвећеном сваком пару станица;
- Чворови комуникационе мреже могу да буде потпуно или делимично повезани. Ово друго је уобичајено за велике мреже. Увек је пожељно за сваки пар станица имати више од једног могућег пута кроз мрежу. На тај начин се обезбеђује поузданост комуникационе мреже;

¹ Frequency Division Multiplexing

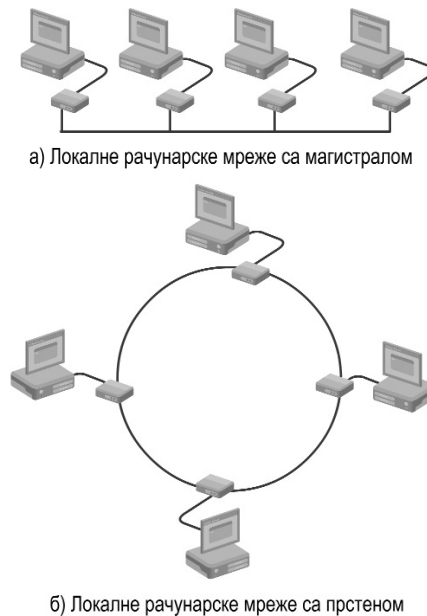
² Time Division Multiplexing

2. Комутационе технике



Слика 2.4 Бежичне мреже

Код комуникационих мрежа један ка свима између крајњих станица не постоји комутациони чвор. Свака станица прикључена је за предајник/пријемник који комуницира преко медијума који дели са осталим станицама. То је најједноставнији начин; оно што пошаље било која станица прослеђује се тако да све станице могу то да приме. Једноставан пример је радио-систем у коме се слушаоци подешавају на исти канал (учестаност) тако да могу међусобно да комуницирају. Сlike 2.4 и 2.5 илустрирају комуникационе мреже.



Слика 2.5 Локалне рачунарске мреже

2.1 Комутација канала

Комутација канала подразумева технику комуницирања две удаљене станице тако да постоји комуникациони пут додељен само тим станицама. Пут је повезана секвенца комуникационих веза између чворова. Уобичајени пример мреже са комутацијом канала је телефонска мрежа. Комуникација у систему са комутацијом канала подразумева три фазе: фазу успоставе везе¹, фазу преноса порука² и фазу раскидања везе³.

Фаза успоставе везе

Пре него што се било који сигнал пошаље мора се успоставити веза с краја-на-крај (станица-станица). На пример: станица C_1 шаље захтев чвору K_1 захтевајући везу са станицом C_5 (слика 2.3). Типично, веза између станице C_1 и чвора K_1 је линија намењена искључиво томе, тако да тај део везе већ постоји. Чвор K_1 мора да пронађе путању и она га води до чвора K_5 . На основу информације о рутирању и мерењу доступности и вероватно цене, чвор K_1 бира везу ка чвору K_7 , додељује слободан канал (користећи временски или фреквенцијски мултиплекс⁴) на том линку и шаље поруку да захтева везу са C_5 . Тако додељени пут остварен је од станице C_1 преко чворова K_1 до K_7 . Пошто више станица може да се прикључи на чвор K_1 он мора да буде у стању да оствари интерне путеве од више станица ка више чворова. Даље, чвор K_7 додељује канал ка чвору K_5 и интерно повезује тај канал са каналом од чвора K_1 . Чвор K_5 завршава везу ка станици C_5 тако што испитује да ли је станица C_5 заузета или је спремна да прими везу.

Фаза преноса порука

Сигнали сада могу да се пренесу од станице C_1 преко мреже ка станици C_5 . Сигнали могу да буду дигитални (рачунари), или аналогни (говор). У оба случаја путању чине: линија између станице C_1 и чвора K_1 , интерна комутација у чвору K_1 , канал између чворова K_1 и K_7 , интерна комутација у чвору K_7 , канал између чворова K_7 и K_5 , интерна комутација у чвору K_7 и линија између чвора K_5 и станице C_5 . Веза је обично таква да се сигнали могу слати у оба правца.

Фаза раскидања везе

После периода преноса података веза се прекида, обично захтевом једне од две станице. Сигнал се мора проследити кроз чворове K_1 , K_7 и K_5 да би се ослободили додељени ресурси.

Уочимо да је путања успостављена пре него што је пренос порука започет. Тако капацитет канала мора бити резервисан између пара чворова на тој путањи, и сваки чвор мора да има расположиве интерне комутационе капацитете за одржавање захтеване везе. Комутатор мора да има способност да овим управља.

¹ *Circuit establishment* (успостављање везе). Користићемо термин успостава везе као генералнији приступ који се односи на све системе који у себи обједињује три фазе: успоставу, пренос и раскид везе. У случају система са комутацијом канала веза се користи у смислу физички додељеног канала или линије.

² *Data transfer* (пренос података). Треба истаћи да се подаци преносе у облику рамова или порука. Али за разлику од система са комутацијом порука успостављена путања, односно одговарајући канали који чине ту путању додељени су само тој вези.

³ *Circuit disconnect*

⁴ Коришћење истог трансмисионог медијума за више канала тако да не долази до преклапања у времену (временски мултиплекс) или по фреквенцији (фреквенцијски мултиплекс). У 8. поглављу биће детаљно објашњене ове технике.

2. Комутационе технике

Комутација канала је релативно неефикасна. Каналски капацитет је додељен за време трајања везе, без обзира да ли се поруке преносе. У говору постоје паузе тако да је канал заузет највише 50% времена. За рачунарске комуникације капацитет може да буде неискоришћен у великом делу трајања везе. У ствари, једном када се веза успостави мрежа је практично транспарентна за корисника.

Подаци се шаљу фиксном брзином без кашњења, осим времена пропагације тј. кашњења услед простирања преко преносних линија (линкова). Кашњење које је последица времена које је потребно да се подаци обраде у чворовима практично је занемарљиво.

2.2 Комутација порука

Комутација канала је приступ који одговара системима у којима је размена података везана за релативно континуалан проток података, као што су говор (телефон) и неки типови сензорских и телеметријских улаза. У ствари, комутација канала има два значајна ограничења:

- обе станице морају бити на располагању у исто време за размену података,
- ресурси кроз мрежу морају бити слободни и искључиво додељени двома станицама.

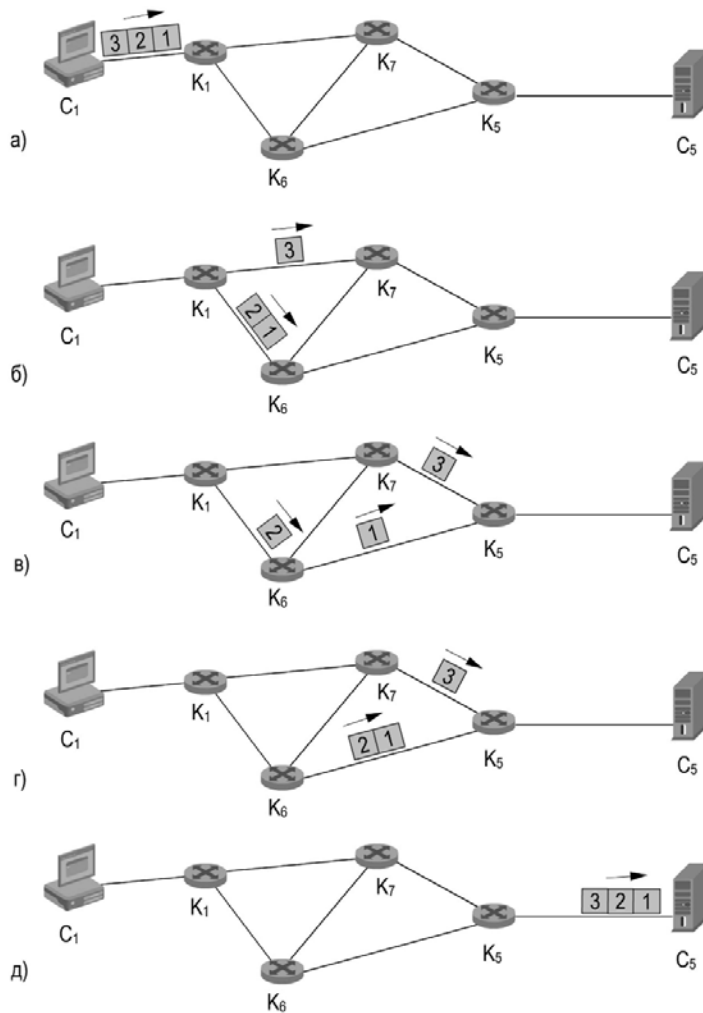
Други приступ, који генерално одговара преносу дигиталних сигнала, је размена логичких јединица које се називају поруке. Примери порука су телеграми, електронска пошта, рачунарска програма, трансакције са упитом и одговором. Уколико је потребно размењивати поруке у оба правца између станица користи се приступ познат под називом комутација порука. Са комутацијом порука није неопходно успоставити додељени пут између станица. Станица која шаље поруку додаје адресу одредишта поруци. Порука се затим прослеђује кроз мрежу од чвора до чвора. У сваком чвору цела порука се прими, смести на кратко и затим шаље ка следећем чвору.

На слици 2.6 илустрован је пример слања 3 поруке. Чвор сваку поруку независно анализира и може (као што је на слици 2.6 приказано) свака од њих да се шаље различитим путањама. Овај систем назива се систем „смести и проследи“¹. У неким случајевима чвор за који је станица прикључена, или централни чвор, прави такође и сталну копију поруке (извештај).

Предност овог приступа у односу на комутацију канала је следећа:

- ефикасност линије је већа пошто у датом тренутку канал чвор-чвор може делити више порука. За исту количину саобраћаја потребни су мањи капацитети преносних канала;
- није неопходна истовремена расположивост и предајника и пријемника. Мрежа може да чува (смести) податке;
- када је саобраћај повећан мрежа са комутацијом канала блокира неке позиве, тј. мрежа одбија да их прими. Код система са комутацијом порука поруке се и даље примају, али прослеђивање касни;

¹ Store and Forward



Слика 2.6 Комутација порука

- систем са комутацијом порука може да шаље једну поруку ка многим одредиштима. Праве се дупликати поруке и свака се шаље ка једном од захтеваних одредишта. Ово се не може лако постићи системом са комутацијом канала;
- могуће је обезбедити приоритет порука. Тако, уколико чвор има већи број порука које чекају у реду за пренос, он може прво да шаље поруку са вишим приоритетом. Ове поруке ће стизати са мањим кашњењем него поруке са мањим приоритетом;
- контрола грешке и опоравак од грешке могу бити уграђени у мрежу. Поруке могу бити нумерисане и ископиране за касније, уколико оригинална не успе да стигне до одредишта;

2. Комутационе технике

- порука која се шаље ка станици која није у раду може се поново послати ка некој другој станици или задржати до даљњег;
- мрежа са комутацијом порука може обезбеди конверзију кода и брзине. Две станице са различитим брзинама могу бити међусобно повезане. Мрежа са комутацијом порука може лако да конвертује формат (нпр. из ASCII формата у EDCIDIC формат).

Основни недостатак мреже са комутацијом порука је да није погодна за саобраћај у реалном времену¹. Кашњење кроз мрежу може да буде релативно дугачко и има велике варијације².

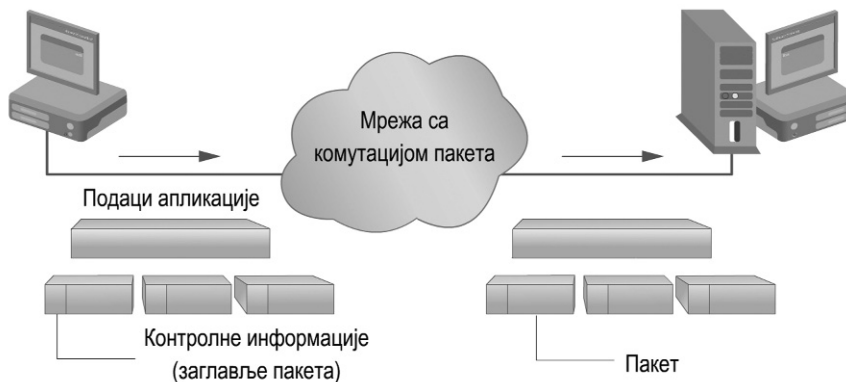
2.3 Комутација пакета

Чињеница је да станица поруке изнад одређене величине прво мора да подели у мање јединице (пакете) и затим их шаље једну за другом.

Посматрајмо пренос једног пакета на примеру слике 2.6. Пакет садржи податке и одредишну адресу. Станица S_1 шаље пакет ка чвору K_1 , који га накратко смешта и затим прослеђује ка чвору K_7 , који га затим прослеђује ка чвору K_5 и тако даље до станице S_5 . На први поглед комутација пакета може да изгледа као да нема посебне предности у односу на на комутацију порука. Међутим, смањење величине поруке у пакет има значајан утицај на перформансе.

Проблем је у следећем: станица има поруку за слање која је већа од максималне величине пакета. Порука се дели у мање целине (пакете) који се шаљу ка чворовима (слика 2.7). Поставља се питање како ће мрежа водити рачуна о овој групи пакета? Постоје два приступа: датаграм (без успоставе везе) и виртуелни канал (са успоставом везе).

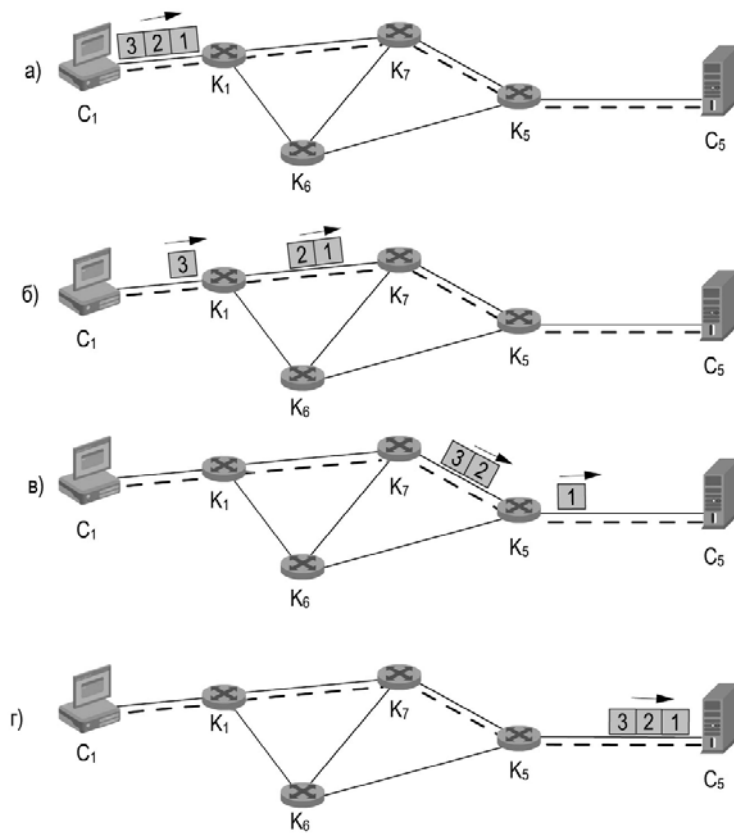
У датаграм приступу сваки пакет се третира независно, као што се и свака порука третира независно у мрежи са комутацијом порука. Анализираћемо последице оваквог приступа. Претпоставимо да станица S_1 има три пакета да пошаље ка станици S_5 , као што је приказано на слици 2.6. Сматраћемо да је станица S_1 поделила поруку коју треба да пошаље станици S_5 у три пакета. Она шаље



Слика 2.7 Употреба пакета

¹ Real time

² Jitter



Слика 2.8 Комутација пакета: виртуелни канал

пакете напоље, 1-2-3 ка K_1 . За сваки пакет чвор K_1 мора да направи одлуку о даљем прослеђивању (на пример K_6). Сваки чвор одабира као следећи чвор на путањи пакета на основу информација које добија од суседних чворова о саобраћају, линијама које не раде итд. Пакет 1 долази у чвор K_1 који види да је ред за чвор K_6 мањи него за чвор K_7 и ставља пакет у ред за чвор K_6 . Исто је и за пакет 2. Али за пакет 3 чвор K_1 проналази да је његов ред за чвор K_7 краћи и ставља пакет 3 у тај ред. Тако пакети са истим одредишним адресама не иду по истим путањама. Могуће је да ће пакет 3 пре стићи до чвора K_5 од пакета 2. Тако је могуће да ће пакети бити испоручени станици C_5 различитим редоследом од оног у коме су послати. Станица C_5 је та која ће их правилно поређати. Пошто се сваки пакет третира независно ова техника се назива датаграм¹.

У приступу са виртуелним каналом успоставља се логичка (виртуелна) веза пре него што се било који пакет пошаље. На пример, претпоставимо да станица C_1 има једну или више порука да пошаље ка станици C_5 (слика 2.8). Она прво ка чвору K_5 шаље пакет „позив за успоставом везе“², захтевајући успоставу везе са станицом C_5 . Чвор K_1

¹ Без успоставе везе - *connectionless*.

² *Call Request*

одлучује да усмери позив за успоставом везе (као и све остале податке) ка чвору K_5 који га прослеђује ка станици C_5 . Уколико је станица C_5 спремна да прихвати везу она шаље пакет „позив је прихваћен”¹ ка чвору K_5 . Овај пакет се шаље натраг преко истих чворова до станице C_1 . Станице C_1 и C_5 могу сада да размењују податке преко логичке везе, односно виртуелног канала (кола) који је између њих успостављен.

Сваки пакет сада садржи ознаку (идентификатор) виртуелног канала и податке. Сваки чвор у претходно успостављеној путањи² зна где да усмери пристигле пакете; није потребно одлучивати о рути. Тако сваки пакет података из станице C_1 пролази кроз чворове K_1 , K_7 и K_5 ; сваки пакет података из станице C_5 пролази кроз чворове K_5 , K_7 и K_1 . Једна од станица може да прекине везу са пакетом „захтев за брисањем везе”³. У било ком тренутку свака станица може да има више од једног виртуелног канала ка било којој станици и може да има виртуелни канал ка већем броју станица.

Главна карактеристика технике са виртуелним каналима је да се успоставља путања (рута) између станица пре преноса порука. Уочимо да ово не значи да постоји додељени пут, као у колима са комутацијом канала. Пакет података се и даље смешта (баферује) у сваком чвору, и ставља у ред ка свакој линији. Разлика у односу на датаграм приступ је да чвор нема потребе да одлучује о путањи (рути) за сваки пакет већ се то за сваку везу уради само једном.

Виртуелни канал може да обезбеди различите услуге као што су додела редних бројева (секвенционирање), контрола грешке и контрола тока. Пошто сви пакети иду истом путањом стижу редоследом којим су послати. Контрола грешке обезбеђује да су пакети исправног редоследа и да су тачно примљени. На пример, уколико један од пакета у реду (секвенци) не стигне до чвора K_5 , или стигне са грешком, чвор K_5 може да захтева поновно слање (ретрансмисију) пакета из чвора K_1 користећи редни број тог пакета

Техника која обезбеђује да пошиљалац не „преоптерети” примаоца подацима је контрола тока. На пример уколико станица C_5 памти податке које је добила од станице C_1 и констатује да нема више простора за смештање нових података, она може да захтева да станица C_1 до даљњег одложи слање података.

Предност датаграма је да је прескочена фаза успоставе везе⁴, зато станица жели да пошаље само неколико пакета датаграм пренос је бржи. Друга предност датаграм сервиса је што је много флексибилнији. Уколико дође до загушења у једном делу мреже долазећи датаграми могу се преусмерити (рутирати) на други део мреже, тј. комуникационој мрежи је много лакше да се прилагоди загушењу. Ако се користи техника са виртуелним каналом када чвор није у функцији (у квару је) подаци о свим виртуелним везама које пролазе кроз тај чвор изгубљени су и веза између изворишне и одредишне станице мора се поново успостављати. Са датаграмом, уколико је чвор ван функције, пакети могу да се усмере на другу путању (преко неког другог чвора).

¹ *Call Accept*

² Користе се и термини пут или рута.

³ *Clear Request*

⁴ *Call setup*

- време слања (предаје) је време потребно предајнику да пошаље блок података ка линији. На пример, потребна је 1ms да би се послао блок од 1000 бита брзином 10Mb/s;
- кашњење обраде је време које је потребно чвору да обави неопходну обраду када врши комутацију података.

Перформансе комутационих система зависе од више фактора који укључују:

- број станица,
- саобраћај у систему,
- дужину (и у времену и у подацима) типичне размене између станица,
- време обраде чворова,
- величину пакета.

Детаљније о карактеристикама ових система биће речи у осталим поглављима овог уџбеника.

Штафетни пренос рамова

Пакетски пренос развијен је у време када је број грешака у пакету услед преноса дигиталним системима био већи него што је данас. Као резултат постоји значајна количина премашења¹ која се уноси у пакет код система са пакетском комутацијом, са циљем да компензују настале грешке у преносу. Премашење укључује битове који се додају сваком пакету да би се помоћу њих додатном обрадом у крајњим станицама и међучворовима откриле и по могућност исправиле грешке настале у преносу.

Са савременим телекомуникационим системима великих брзина премашења су беспотребна и контрапродуктивна. Нису неопходна пошто је проценат грешака драстично смањен. Преостали број грешака може се једноставно открити у крајњим системима са одговарајућим механизмима.

Штафетни пренос рамова (FR²) пројектован је са намером да се искористе предности великих брзина преноса и малог процента грешака. Прве рачунарске мреже са пакетском комутацијом пројектоване су за брзине од око 64kb/s до крајњих корисника а мреже са штафетним преносом рамова пројектоване су да раде ефикасно са брзинама до 2Mb/s до крајњих корисника. Кључни потез који ово омогућава био је отклањање сложених механизма за контролу грешке.

Мреже са комутацијом ћелија

Мрежа са комутацијом ћелија (АТМ³) представља сам врх у развоју система са комутацијом канала и пакета. Очигледна разлика између система са штафетним преносом (FR) и са комутацијом ћелија (АТМ) је у томе што системи са штафетним преносом рамова користе целине променљиве дужине, које се називају рамови, а система са комутацијом ћелија целине фиксне величине које се називају ћелије. Као и системи са штафетним преносом, АТМ системи уносе мало премашење за контролу грешке: то препуштају вишим слојевима у крајњим системима. Користећи пакете фиксне дужине

¹ *Overhead*. Односи се на управљачке податке, тзв. некорисне податке.

² *Frame Relay* (FR). Користи се и термин штафетни пренос оквира.

³ *Asynchronous Transfer Mode* (АТМ)

АТМ системи смањују време обраде у међучворовима. Резултат је да брзине које се постижу у АТМ мрежама иду и до реда Gb/s.

АТМ се такође може сматрати као систем који се развио из система са комутацијом канала. Код система са комутацијом канала крајњим системима су на располагању тачно одређене брзине података. АТМ системи омогућавају дефинисање више виртуелних канала са брзинама података које се дефинишу динамички у тренутку када се виртуелни канал успоставља. Користећи мале ћелије, тачно одређене величине (53 бајта) АТМ је тако ефикасан да може да понуди канале са константном брзином без обзира што користи пакетску комутацију. На тај начин АТМ проширује могућности система са комутацијом канала, тако да он омогућава постојање више канала у којима се брзина по захтеву динамички додељује.