LOKÁLIS HÁLÓZATOK

Bevezetés

A 80-as évek közepére jellemző tendencia a korábban kísérleti lokális hálózatok megjelenése a mindennapos gyakorlatban. A felgyorsult fejlődés mögött az adatfeldolgozó iparban megjelent meghatározó fejlődési irányok tapinthatók ki. Ezek közül a legfontosabb a költségek állandó csökkenése, amely együtt járt a a számítógépes hardware-kapacitások növekedésével. A kor szinvonalán álló mikroprocesszorok sebessége, utasításkészlete és memóriakapacitása összevethető a közepes nagyságú mini számítógépekével. Ez a trend maga utánt vont számos változást az alkalmazási szintű információkezelésben. Egyre növekszik a szerepe az egyedi funkciókat biztosító kis rendszereknek, pl. a szövegfeldolgozóknak, kis üzleti számítógépes rendszereknek és az olyan áltlános célú mikro számítógépes rendszereknek, mint a személyi számítógépek és az inteligens terminálok.

Ezek az elszórtan elhelyezkedő kis rendszerek könnyebben hozzáférhetők a felhasználók számára, továbbá válaszadó készségük sokkal jobb és gyorsabb, mint a nagy teljesítményű központi időosztásos redszereké.

Ahogy az ilyen térben elszórtan elhelyezkedő rendszerek kiépítettsége nő egy adott szervezeten belül, annál inkább felmerül az igény arra, hogy összekapcsoljuk őket annak érdekében, hogy

- a költséges erőforrásokat kapactását megosszuk,
- és biztosítsuk az adatcserét az egyes berendezések között.

Olyan drága berendezések használatának megosztása, minta a nagyméretű tömegtárolók és nyomtató berendezések, jelentősen befolyásolják a telepítési költségeket. Habár a hardware költsége általában csökken, az ilyen berendezések továbbra is a drágább kategóriába tartoznak.

Még abban az esetben is, ha az adatokat egyértelműen hozzá lehet rendelni az egyes rendszerekhez, gazdaságossági szempontból előnyösebb, ha az adatok nagy része megfelelő kapacitású központi tárolón van elhelyezve. Egy bit fajlagos tárolási költsége egy floppy lemezen ugyanis nagyságrenddel nagyobb, mint nagy kapacitású diszken, vagy szalagon.

Az adatcsere igénye legalább ennyire fontos az összekapcsolás megvalósításánál. Az egyes felhasználók általában nem egymástól izoláltan dolgoznak és használni akarják a központi rendszerek olyan előnyös szolgáltatásait, mint az üzenetváltás (mail), de igényük lehet az elszórtan elhelyezkedő adatok összegyűjtésére bizonyos kimutatásokhoz és az adatanalízishez.

A lokális hálózat egy lehetséges definíciója

A kommunikációnak ezt az igényét, amely részint az egyes szervezetek között, másrészt az egyes szervezeteken belüli rendszerek között merül fel, elégítik ki a lokális hálózatok. A lokális hálózatokat a következőképpen lehet meghatározni:

A lokális hálózat olyan kommunikációs hálózat, amely összaköttetést biztosít különböző adatkommunikációra képes berendezések között kis területen belül.

Typeset by $\mathcal{A}\mathcal{M}\mathcal{S}$-TEX

A fenti meghatározásnak három fontos eleme van. (1) A lokális hálózat kommunikációs hálózat és nem számítógépes hálózat. A továbbiakban a hálózattal, mint kommunikációs eszközzel foglalkozunk és nem tárgyaljuk azokat a software elemeket és protokollokat, amelyek ahhoz szükségesek, hogy valamely számítógép hálózatban működjön. (2) Nagyon széles körben értelmezzük az adatkommunikációra képes berendezés fogalmát. Ide tartozónak tekintjük pl.: a számítógépeket, a terminálokat, perifériális berendezéseket, különböző érzékelőket, telefonokat, televízió adó és vevőket, különböző fakszimile berendezéseket. (3) A területi kiterjedése a lokális hálózatoknak viszonylag kicsi, általában egy épületre terjed ki, de összeköthet épületeket is, pl. egy egyetemen belül. Néhány tíz kilóméteres átmérő azonban mindenképpen felső határt jelent. Alkalmas technológiára építve, az ilyen hálózat még a lokális hálózatok kategóriájába eshet.

Egy másik fontos szempont lehet a lokális hálózatok meghatározásánál, hogy ezek a hálózatok általában privát hálózatok és nem publikusan elérhető kereskedelmi eszközök. A lokális hálózat rendszerint az üzemeltető szervezet tulajdonát képezi a kapcsolódó berendezésekkel együtt.

A lokális hálózatok néhány legfontosabb karakterisztikája a következő:

- nagy adatátviteli sebesség (0.1 - 100 milló bit másodpercenként, Mbps),
- kis átmérő (0.1 - 50 km),
- alcsony hibaarány (10^{-8} - 10^{-11}.)

Ezek a paraméterek különbözteti meg a lokális hálózatokat a nagy kiterjedésű hálózatoktól és a multiprocesszoros rendszerektől.

A lokális hálózatok sokkal kisebb átviteli hibával működnek és telepítésük is olcsóbb mint a nagy kiterjedésű hálózatoké. Ezért a fajlagos hatékonysági tényező sokkal jobb a lokális hálózatok esetén. Sokkal nagyobb intergráltság érhető el a lokális hálózat és a csatlkozó berendezések között, mivel a tulajdonos ugyanaz a szervezet.

A legfőbb különbség a lokális hálózatok és a multiprocesszoros rendszerek között a kapcsolódások fokában van. A multiprocesszoros rendszereknél általában valamifajta centrális vezérlés létezik, általában központi osztott memórát használnak és teljesen integrált a kommunikáció a rendszer részei között. Ugyanakkor a lokális hálózatokra éppen fordított állítások érvényesek.

A lokális hálózatok előnyei és hátrányai

Már az előzőekben hangsúlyoztuk, hogy az erőforrásmegosztás az egyik legfontosabb előnye az lokális hálózatoknak. Az erőforrás fogalmába itt beleértendő maga az adat is.

A lokális hálózatok sokkal megbíhatóbbak, a rendelkezésre állásuk foka sokkal nagyobb és jobb a hibatűrő képességük is. Valamely hálózatbeli rendszer időleges kiesésének hatása minimális, ugyanakkor túbiztosított rendszerek is kiépíthetők és a teljes működőképesség gyorsan helyreállítható.

A lokális hálózatok egyik legfontosabb előnye a kibővíthetőség. A lokális hálózatok lehetővé teszik, hogy komplett akalmazásokat vagy rendszereket lecsréljünk anélkül, hogy a "mindent vagy semmit" kényszer alatt lennénk. A régi berendezések is megtarthatók, ha az alkalmazások újraszervezése túlságosan is költséges lenne.

Végül a lokális hálózatokhoz különböző gyártók által készített berendezések is csatlakoztathatók, ami megkönnyítía kialakítást.

A hátrányok között kell említeni, hogy a vezérelhetőség foka csökkenhet osztott vezérlés esetén. Bonyolult probléma úgy kezelni a berendezéseket, hogy betartsuk a software- és adatszabványokat és egyben kézben tartsuk a rendelkezésre álló információt. A legfőbb előnyből - osztott rendszerkörnyezet - egyúttal a legfőbb hátrány is származik.

Nagyon valószínű, hogy osztott környezetben a logikailag összetartozó adatok osztottan helyezkednek el. Ez hansúlyozottan felveti az adatintegritás, az adattitkosítás és az adathozzáférés ellenőrzésének problémait hálózati szinten.

Másik hátrányként említhető a túlméretezett hálózat kialakítására való hajlam. A részegységek az igényeiket saját berendezések bekapcsolásával igyekeznek kielégíteni, de ezek a berendezések általában jóval nagyobb kapacitásúak, mint a közvetlen igények.

További problémák merülhetnek fel, ha különböző gyártóktól származó software vagy hardware elemeket kapcsolunk össze. Gyakori eset, hogy a két berendezés közvetlen kommunikációra nem alkalmas, további software támogatást igényel a kommunikació (pl. formai átalakítások, stb.).

1. Lokális Hálózati Technológiák

A lokális hálózatok elvi technológiai alternatívái a különböző topológiákban és átviteli közegekben mutatkoznak meg. A topológia és az átviteli közeg eleve meghatározza a továbbítható adatok típusát, a kommunikáció sebességét és hatékonyságát, sőt még azon alkalmazások természetét is, amelyeket a hálózat támogatni képes. A következőkben áttekintjük azokat a különböző topológiákat és átviteli közegeket, amelyek jelenleg alkalmaznak a lokális hálózatok kialakításánál, majd ezen technológiák alapján a lokális hálózatok egy lehetséges osztályozását adjuk meg.

1.1 Topológiák

A lokális hálózatokat (LAN) gyakran a topológiájukkal jellemzik. A következő topológiák általánosan elfogadottak: csillag alakú, gyűrű (ring) alakú, illetve vonal (busz) vagy fa alakú topológiák. A vonal olyan speciális fa, amelyben nincs elágazás. A következőkben a vonal/fa megjelölést használjuk, ha a különbségtétel nem fontos.

1.2 Átviteli közeg

Az *1. táblázat* felsorolja mindazokat az átviteli közegeket, amelyek leginkább használatosak a lokális hálózatok kialakításánál. A felsorolt lellemzők alapján a hátékonyság és az alkalmazhatóság szempontjából különbséget tehetünk az egyes átviteli közegek között.

A lokális hálózatok kialakításánál a leggyakrabban használatos átviteli közeg a sodort érpár (twisted pair wiring), a koaxális kábelek és az optikai vezetők (optical fiber).

A sodort érpár az egyik legáltalánossban használatos átviteli közeg, amely lokális hálózatok kialakításához is alkalmazható. Általában alacsony sebességű átviteleknél alkalmazzák ezt a technológiát, de néhány megabit/másodperc (Mbps) sebesség elérhető vele. A sodort érpár hátránya, hogy felléphetnek interferenciák és átviteli zajok, pl. a másik huzal felől. Ezek a hatások minimalizálhatók megfelelő árnyékolással. A sodort érpár technológia viszonylag olcsó és legtöbbször már eleve beépítik az épületekbe. Ez a leghatékonyabb választás, ha egyetlen épületről van szó, és a forgalom szintje nem túl magas.

Jobb hatékonysági érhető el koaxális kábelek alkalmazásával, mivel a koaxális kábelek átviteli kapacitása nagyobb, több berendezés köthető velük össze, és nagyobb távolságot képesek összekapcsolni, mint a sodort érpárok. A koaxális kábel technológia megvalósíthat egyetlen adatátviteli csatornát (baseband), de egyidejűleg több átviteli adatcsatornát (broadband) is az alkalmazott átviteli módszertől függően. Ezekről a későbbiekben lesz szó.

Az optikai vezetők alkalmazása látszik a legigéretesebbnek, mivel ezek átvieteli kapacitása nagyobb, mint a koaxális kábeleké, de ezen túlmenően ennek a tecnológiának még sok további előnnye is van az előző technológiákhoz képest. Előnyös pl. a viszonylag könnyű súly, a kis átmérő, valamint az a tény, hogy kevésbé zavarható meg külső zajokkal, és gyakorlatilag teljesen leárnyékolható. A telepítés költségei ugyanakkor viszonylag magasak. Az optikai kábel technológia elsősorban a pont-pont topológiáknál (ilyen pl. a gyűrű topológia) alkalmazható, mivel a sok töréspont a multipont topológiák esetén (pl. a vonal/fa topológiánál) jelgyengülést és nemkívánatos visszaverődéseket idézhet elő.

1.3 A topológia és az átviteli közeg viszonya

Az átviteli közeg és a topológia megválasztása nem történhet egymástól függetlenül. A lehetséges kombinációkat a *2. táblázat* tartalmazza.

A vonal topológia egyaránt kialakítható sodort érpár, illetve koaxális kábelezésre építve.

A fa topológia kialakításához a legalkalmasabb a többcsatornás koaxális kábelezés. A későbbiekben látni fogjuk, hogy elsősorban a többcstornás átvitel egyirányúsága miatt alkalmas ez a technológia fa struktúra kialakítására. Ha azonban egycsatornás átvitelt kívánunk alkalmazni, akkor a kétirányúság miatt ez az átviteli mód nem valósítható meg fa topológiájú átviteli közeg esetén akár sodort érpárokat, vagy akár koaxális kábeleket alkalmazunk is a fa struktúra kialakításához.

A gyűrű topológia pont-pont kapcsolatokra épül. Ezért a sodort érpár, az egycsatornás koaxális kábelezesi technológia, valamint az optikai vezetők egyaránt alkalmasak ilyen kapcsolatok létrehozásához. Ha a gyűrű topológia kialakításához a többcsatornás koaxális kábelezési technológiát használnánk, akkor a csomópontoknak (repeatereknek) aszinkron módon minden csatornán akár egymást átfedve is tudniuk kellne fogadni és továbbítani. Kétséges, hogy egy ilyen berendezés megvalósítási költsége arányban lenne-e a hasznosságával.

A csillag topológia egyszerű pont-pont kapcsolatot jelent valamely hálózati elem és a központi kapcsoló között. Elsősorban a sodort érpár technológia alkalmas ilyen rendszerek létrehozásához, azonban a koaxális kábelek és az optikai vezetők nagyobb átviteli képessége miatt ez utóbbiak alkalmazásával a létrehozható kapcsolatok száma a csillag topológiában megsokszorozódhat.

1.4 A lokális hálózatok különböző típusai

A lokális hálózatoknak három kategóriáját szokás megkülönböztetni:

- területileg lokális hálózatok (Local Area Networks, LAN),
- nagy sebességű lokális hálózatok (High-Speed Local Networks, HSLN) és
- számítógépes elágazásvezérlés (Computerized Branch eXchange, CBX).

Ezek a kategóriák mindazokat az eltéréseket tükrözik, amelyek részint az alkalmazások típusaiban, részint a választható topológiákban és átviteli közegekben, valamint különösen a CBX-ek esetén, technológiákban mutatkoznak meg. A *3. táblázat* összegzi mindhárom kategória lényeges tulajdonságait. Az osztályozásban a CBX-ek is előfordulnak, mivel lehetséges alternatívát képeznek a digitális berendezések összekapcsolásához. Ugyanakkor a CBX-ek technológiája és architektúrája olymértében különbözik a LAN és HSLN-ektől, hogy gyakran nem is tekintik őket lokális hálózatoknak. A CBX-eknek csak összefoglaljuk a lényeges karakterisztikáit és a továbbiakban elsősorban a LAN és HSLN hálózatokkal foglalkozunk.

1.4.1 Local Area Networks

Területileg lokális hálózat (LAN) alatt általános rendeltetesű lokális hálózatot szokás érteni. Ezek a hálózatok különböző berendezések sokaságát képesek összekapcsolni, így pl. mini számítógépeket, nagy teljesítményű számítógépes kapacitásokat (mainframes), terminálokat és más perifériális berendezéseket. Sok esetben ezek a hálózatok nem csak adatokat, de hangot, képeket, illetve grafikákat is képesek továbbítani.

A legáltalánosabb LAN-ok vonal, vagy fa topológiát mutatnak koaxális kábelezésre építve, de lehetnek gyűrű alakúak is sodort érpárokból, koaxális kábelekől, vagy éppen optikai vezetőből kialakítva. Az adatátviteli sebesség (1-10 Mbps) elegendő ahhoz, hogy a legtöbb igény kielégíthető legyen, és ez a kapactitás megfelelő ahhoz is, hogy nagyszámú berendezés megosztva használja a hálózatot.

1.4.2 High-Speed Local Networks

A HSLN hálózatok leggyakrabban vonal topológia szerint épülnek fel. Alkalmazzák mainframe-ek és tömegtárolók összekapcsolására, ahol I/O csatornaként szolgálnak a különböző nagy sebességű berendezések között. Általában költséges a megvalósítás, és jellemző a nagy adatátviteli sebesség.

1.4.3 Computerized Branch Exchange

A CBX hálózatok számítógépekkel vezérelt vonali kapcsolatokat szolgáltatnak (circuit switching) ellentétben az előzőekkel, amelyek csomagkapcsolt (packet switching) hálózatok. A CBX-ek egyaránt alkalmasak hang- és adatkommunikációra. Rendszerint csillag topológiára épülnek. A jellemző alkalmazásoknál az adatsebesség kívülről valamely hálózati kapcsolat végpontja felé viszonylag alacsony, de az átviteli kapacitás a már létrehozott átviteli vonalon grantált, és gyakorlatilag nincsen késletetés a hálózaton, ha a kapcsolat egyszer már kiépült. A CBX-ek jól alkalmazhatók hangátviteleknél, valamint terminál-termnál, illetve terminál-host kapcsolatok kiépítésére.

2. Vonal/fa Topológia

2.1 A vonal/fa alakú LAN és HSLN hálózatok jellemzése

A vonal/fa topológia multipont konfiguráció. Ez azt jelenti, hogy megengedett kettőnél több berendezés összekapcsolása ugyanazon fizikai átviteli kapcsolaton keresztül úgy, hogy ezek mindegyike aszinkron módon küldeni képes. Ezzel szembeállítható a pont-pont konfiguráció, ahol minden fizikai összeköttetés csak két hálózati elemet kapcsol össze.

A multipont konfigurációnál több hálózati elem osztozik egyetlen fizikai összeköttetésen, ezért közülük egyidőben mindig csak egy küldhet adatot rendszerint csomag formában, amely tartalmazza a rendeltetési hely címét. A csomag szétterjed a médiumon és a fizikai kapcsolattal érintkező összes hálózati elem felfogja, de csak az készít róla másolatot, amelyik a rendeltetési hely.

Két átviteli technika használatos a vonal/fa alakú LAN és HSLN hálózatok esetén: az egycsatornás digitális átvitel (baseband) és a többcsatornás analóg átvitel (broadband). A két átviteli technika néhány jellegzetességét a *4. táblázat* foglalja össze.

Az egycsatornás átvitelnél a jel digitális. Ez a technika sodort érpárok és koaxális kábelek esetén alkalmazható.

A többcsatornás átvitelnél a jel analóg a rádiófrekvencia-tartományban. Ez az átviteli technika csak koaxális kábelek esetén használható.

Létezik még az egycsatornás analóg technika is (single-channel broadband).

A vonal/fa topológiák multipont jellegéből több általános probléma származik, amely egyaránt jelentkezik minden fent említett technikánál. Először is meg kell határozni, hogy az idő bármely pillanatában melyik állomás küldhet. Történeti kialakulását tekintve a legáltalánosabban használt hozzáférési séma a centralizált kérdezés (centralized polling). Az egyik állomás a központi vezérlő szerepét játssza. Ez az állomás bármely más állomás felé küldhet adatot és kérheti, hogy bármely más állomás az ő részére adatot küldjön. Látható, hogy ebben az esetben minden kommunikáció ezen központi vezérlőn keresztül bonyolódik. Ezek a rendszerek nem rendelkeznek az osztott vezérlésű rendszerek előnyeivel és két nem központi hálózati elem közvetlen kommunikácójára nincsen lehetőség.

A vonal/fa topológák számára több osztott vezérlésű stratégiát alakítottak ki. Ezeket a hozzáférési protokollaokat (Medium Access Control Protocols) a későbbiekben részletesen tárgyalni fogjuk.

A másik közös probléma - a jelszint kezelése - fizikai természetű. A lényeg az, hogy az elküldött jel erősségének pontosan körülhatárolt intervallumba kell esnie ahhoz, hogy a vevő oldal képes legyen venni, feltételezve egy adott jel-zaj viszonyt. Pont-pont kapcsolat esetén ez a probléma viszonylag könnyen megoldható, míg a multipont kapcsolatnál a potenciális párok nagy száma miatt ugyanez a probléma már sokkal nehezebben kezelhető. Megoldás lehet a szállító médium feldarabolása úgy, hogy egy szegmensen belül a jelszint kezelése már páronként megoldható. Szegmensek között erősítők és ismétlők alkalmazhatók a jel megfelelő szinten tartásához. Az analóg jeleket alkalmazó többcsatornás technikáknál a probléma még összetettebb. Itt ugyanis számolni kell az egyes csatornák közötti interferenciával is.

2.2 Egycsatornás (baseband) átviteli technika

Az egycsatornás átviteli technikát alkalmazó LAN és HSLN hálózatok digitális jeleket használnak az információ továbbítására. Az átviteli közeg teljes frekvenciaspektruma felhasználható a jel kialakítására. Az ilyen hálózatok hossza legfeljebb egy kilométer lehet a jel gyengülése miatt. Az egycsatornás digitális átvitel kétirányú. Ez azt jelenti, hogy a mediumra felvitt jel a kommunikációs csatorna mindkét vége felé tovaterjed, majd a végeken elnyelődik (erről megfelelő lezárók segítségével kell gondoskodni annak érdekében, hogy megakadályozzuk a nemkívánatos visszaverődéseket).

Az egycsatornás digitális átviteli technika vonal topológia esetén alkalmazható, mivel a digitális jeleket, ellentétben az analóg jelekkel, nem lehet könnyen továbbítani a fa topológia elágazási és egyesülési pontjain keresztül.

2.2.1 Egycsatornás digitális átviteli technika koaxális kábelre

A legismertebb egycsatornás, digitális, vonal topológiájú LAN-ok koaxális kábelezésűek. Ezek közül is az egyik legelterjedtebb típus az ETHERNET rendszer. Az ETHERNET 50 Ohmos koaxális kábelezésre épül, míg a többcsatornás átviteli technikát alkalmazó koaxális LAN-ok és a kábeltelevízió 75 Ohmos kábeleket használ. Digitális jelek átvitele szempontjából az 50 Ohmos koaxális kábel az alkalmasabb, mivel kevésbé érzékeny a csapoknál belépő kapacitások miatti reflexiókra és nagyobb ellenállást tanúsít az alacsony frekvencia-tartományokban fellépő elektromágneses zajokkal szemben.

A legegyszerűbb ETHERNET hálózat egy elágazás nélküli koaxális kábelből áll, amelynek végeit megfelelő végzárók zárják le, hogy megakadályozzák a visszaverődéseket a végeken. Biztonságos kommunikációhoz az ajánlott maximális kábelhossz nem több, mint 500 méter. Az egyes állomások speciális adó/vevőkhöz (transceiver) csatlakoznak, amelyek viszont megfelelő csapokon (tap) keresztül csatlakoznak a kábelbe. Az alkalmazható csapok maximális száma általában nem több, mint 100. Ezek az adatok egy kb. 10 Mbps átviteli kapacitásra vonatkoznak. Kisebb áviteli kapacitás esetén a kábel lehet hosszabb is.

A hálozat hossza megnövelhető ismétlők (repeater) alkalmazásával. Az ismétlő lényegében két adó/vevőből áll, amelyek egymáshoz és különböző szegmensekhez vannak kapcsolva. Az ismétlő átengedi a jeleket a szegmensek között, miközben regenerálja és felerősíti azokat. Az ismétlő teljesen átlátszó (transzparens) a rendszer többi eleme szempontjából, mivel nem alkalmaz bufferelést és semmilyen eszközzel sem izolálja a szegmenseket egymástól. Ahhoz, hogy a többszörös utak miatt kialakuló interferenciát elkerüljük, elegendő, ha bármely két állomás között csak egy szegmensekből és ismétlőkből álló út létezik.

2.2.2 Egycsatornás digitális átviteli technika sodort érpárokra

Ha viszonylag olcsón nem túl nagy átviteli teljesítményt kívánunk elérni, akkor a koaxális kábelezés helyett a nála sokkal olcsóbb sodort érpárokat is alkalmazhatjuk. Ezeknek a rendszereknek a komponensei a következők: sodort érpárból kialakított vonal topológiájú hálózat, véglezárók, valamint kontroller interfészek. Az alkalmazott jeltechnika általában az RS-422-A szabványnak felel meg. Az így kialakított hálózat főbb paraméterei a következők:

- maximális hossz: 1km.,
- adatátviteli sebesség: 1Mbps,
- kapcsolódó állomások maximális száma: néhány tíz.

Fontos szempont még, hogy a hálózat fizikai kialakítása nem igényel különösebb szakismereteket.

2.3 Többcsatornás analóg (broadband) átviteli technika

A lokális hálózatok körében a többcsatornás átviteli technika mindig analóg jeltechnikán alapul. A digitális átvitelnél az átviteli közeg teljes frekvenciaspektruma az egyetlen digitális jel kialakításra felhasználható, a többcsatornás átviteli technika esetén azonban az analóg jeltechnika lehetővé teszi a frekvenciafelosztásos multiplexelést (frequency-divission multiplexing - FDM). Az FDM alkalmazásával a kábel frekvenciaspektruma csatornákra - adott sávszélességű frekvenciaszekciókra - van felosztva. Az így kialakított csatornák egyaránt alkalmasak adatátvitelre, TV-jelek, illetve rádiójelek továbbítására, akár egyidejűleg is. Erre az átviteli technikára a következőkben többcsatornás analóg FDM technikaként fogunk hivatkozni. A többcsatornás analóg FDM átviteli technika legolcsóbb megvalósítása, ha a jeltechnika analóg, de csak egy átviteli csatorna áll rendelkezésre. Ezt az átviteli technikát a következőkben egycsatornás analóg átviteli technikának nevezzük.

2.3.1 Többcsatornás analóg FDM átviteli technika

A többcsatornás analóg FDM átviteli technikát alkalmazó vonal/fa topológiájú hálózatok a széles körben rendelkezésre álló közösségi TV-antenna rendszerek (community antenna television - CATV) technikai eszközeiből építhetők ki. Minden végpontot 75 Ohmos lezáró zár le annak érdekében, hogy elkerüljük a visszaverődéseket. A CATV technikai elemek lehetővé teszik az elágazást és az egyesítést, ezért vonal és fa topológiák egyaránt kialakíthatók. Az így kialakított hálózatok hossza akár 10 km. nagyságrendű is lehet, és több száz, esetleg ezer berendezést is lehet a hálózatra kapcsolni. Általában erősítőket kell közbeiktatni a hálózat hosszától függően.

Hasonlóan a digitális jeltechnikához, az állomások itt is csapokon (tap) keresztül csatlakoznak a hálózathoz, azonban az átvitel csak egyirányú. Ennek elsődlegesen az az oka, hogy nem lehetséges olyan erősítőket tervezni, amelyek az ugyanazon vivő frekvencián lévő jeleket mindkét irányba továbbítani képesek. Az egyirányúság következménye, hogy csak a "rákövetkező" állomás képes fogni a küldő állomás jelét. Felmerül a kérdés: hogyan valósítható meg a teljes konnektivitás (a mindent mindennel való összekapcsolás)?

Nyilvánvaló, hogy két adatút szükséges. A két út egy hálózati ponton csatlakozik, amelyet fej végpontnak (head end) hívunk. Vonal topológiánál a fej végpont az egyik végpont, fa topológia esetén pedig a fej végpont a fa gyökérpontja. Az összes állomás az egyik kommunikációs úton küld a fej végpont felé (inbound) és a fejnél fogadott jel a másik kommunikációs úton tovabbítódik a fej végponttól (outbound). Az összes állomás a kimenő vonalon fogad.

Fizikailag két megoldás létezik a bemenő és a kimenő vonal megvalósítására. Duális kábel konfigurációnál a kimenő és a bemenő út külön kábelt jelent és a fej végpont egy egyszerű passzív összekapcsoló a két út között. Az állomások ugyanazon a frekvencián küldenek és fogadnak.

Ezzel ellentétes a széthasított (split) konfiguráció. Ebben az esetben a kimenő és a bemenő utak ugyanazon kábelen létező, de különböző frekvenciatartományhoz tartozó átviteli utak. A fej végpont egy frekvenciakonverter (átalakító), amely a bejövő jelek frekvenciáját átalakítja a megfelelő kimenő frekvenciás jelekké és továbbítja azokat a kimenő úton.

A frekvenciakonverter lehet analóg és digitális. Az analóg berendezés egyszerűen áttranszformálja a jeleket az új (kimenő) frekvenciasávba és továbbítja azokat a kimenő úton. A digitális berendezés viszont előbb visszaalakítja az analóg jelket digitális jelekké, közben kiszűri a zajokat, majd újra átalakítja analóg jelekké a kimenő frekvenciatartományban, és kiküldi őket a kimenő úton.

A széthasított rendszereket a frekvenciatartomány szétvágása szerint osztályozhatjuk. Az alul szétvágott (subsplit) rendszernél a bemenő frekvenciatartomány 5-30 Mhz, a kimenő frekvenciataromány pedig 40-300 Mhz. Ezeket a rendszereket tipikusan a városi kábel TV-k kialakítására tervezték, ahol korlátozott lehetőség van kétirányú (előfizető - munkahely) adatátvitelre. A középen szétvágott rendszer a legmegfelelő a lokális hálózati alkalmazásokhoz. A bemenő frekvenciatartomány 5-116 Mhz, a kimenő frekvenciatartomány pedig 168-300 Mhz. Ez a rendelkezésre álló frekvenciatartomány sokkal kiegyenlítettebb szétosztását valósítja meg. Ma már a 400 Mhz feletti tartomány is kihasználható az adatkommunikáció szempontjából.

A duális és a széthasított rendszerek között csak csekély különbség van. A széthasított rendszer mintegy 10-15 %-kal olcsób,b mint a duális kábelezésű rendszer. Ugyanakkor a duális kábel rendszerek kapacitása közel a kétszerese a középen szétvágott rendszerek kapacitásának.

Az többcsatornás analóg FDM átviteli technika alkalmazásával többféle átviteli csatorna kialakítható. Egyidejűleg létezhetnek video csatornák, hangátviteli csatornák, valamint adatkommunikációs csatornák. A video csatorna pl. 6 Mhz sávszélességet igényel, az adatkommunikáció estén 0.25-1 bit/sec átvitelhez 1 Hz szükséges.

A több csatorna egyidejű meglétéből különböző előnyök származnak. Előny, hogy az egyes csatornák különbözőképpen használhatók a hozzáférés szempontjából. Lehetnek dedikált csatornák, kapcsolható (switched) csatornák és többszörös elérésű (multiple access) csatornák egyidejűleg.

Dedikált csatorna esetén a két berendezés között a kapcsolat a frekvencia sávból fixen kijelölt átviteli csatornára épül. Nincs szükség külön protokoll alkalmazására. A modemek (analóg-digitális jelátalakítók) állandó frekvenciára vannak hangolva. Mindez emlékeztet a dedikált bérelt telefonvonalakra. Dedikált kapcsolat alkalmazása hasznos lehet, ha az átviteli terhelés várhatóan nagy lesz. Két szorosan egymásra utalt számítógép kapcsalata lehet például ilyen.

Kapcsolható csatornák esetén bizonyos számú csatornán több berendezés osztozik potenciálisan. Létezik egy kontroller, amely felelős a szabad csatornák kiosztásáért. Ez a rendszer analóg a felhívható (dial-up) telefonvonalakhoz. Az alkalmazott modemek frekvenciája elektronikus jelek útján megváltoztatható az éppen kiosztott csatornának megfelelően. Ebben a rendszerben a kritikus elem a modem, amelynek költsége az átviteli sebesség növekedésekor dramatikusan megnő. 56 Kbps-nál nem nagyobb átviteli sebesség a tipikus ezeknél a csatornáknál.

Legyakoribb eset a többszörös elérésű csatornák alkalmazása, amelyek lehetővé teszik, hogy több állomás osztozzék ugyanazon az átviteli csatornán egyidejűleg. A többszörös kommunikáció vezérléséhez megfelelő közegelérési protokoll alkalmazása szükséges. A vezérlés szempontjából azonos szinten levő állomások között osztott vezérlésű kommunikáció valósítható meg, amely a fő cél a lokális hálózatok esetén is.

2.3.2 Egycsatornás analóg átviteli technika

Az egycsatornás analóg átviteli technika alkalmazásánál az átviteli közeg teljes frekvencia spektruma egyetlen kommunikációs csatornát képez. Általában az ilyen hálózatok vonal topológiájúak és az átvitel kétirányú. Ebből következik, hogy nem mindig kell erősítőket alkalmazni és a fej végpontra egyáltalán nincs szükség. Az átvitelre általában az alacsony frekvenciatartományt használják, ami abból a szempontból is előnyös, hogy kisebb a jel torzulásának veszélye. Az elektronika lényegesen egyszerűb, mint a több csatorna esetén. Az egycsatornás analóg rendszerek lényegében az egycsatornás digitális rendszerekkel mérhetők össze a teljesítmény és a költségek szempontjából.

A fő indíték az egycsatornás analóg átviteli technika alkalmazásánál az, hogy a felhasználó viszonylag nem túl költséges befektetéssel kialakíthatja a 75 Ohmos kábelrendszert. Ez a rendszer később pusztán a modemek megfelelő lecserélésével csatlakoztatható egy teljesebb, többcsatornás analóg FDM átviteli technikát alkalmazó hálózathoz anélkül, hogy a kábelezést megváltoztatnánk.

2.4 Az egycsatornás digitális (baseband) és a többcsatornás analóg (broadband) átviteli technikák összhasonlítása

Az egycsatornás digitális, vagy a többcsatornás analóg FDM technika alkalmazása kérdés eldöntése relatíve kevésbé fontos szempont valamely hálózat kialakításánál, habár a kereskedelmi és az elméleti irodalom általában tág teret szentel ennek a problémának. A hálózatépítő szakembernek ennél jóval bonyolultabb kérdésekben is döntenie kell. A tény az, hogy mindkét alkalmazási technológiának megvan a létjogosultsága.

Ha tömören akarjuk összefoglalni a két technológia előnyeit és hátrányait, akkor elmondhatjuk, hogy az egycsatornás digitális technológia előnye az egyszerűség és a viszonylag alasony megvalósítási költség. A kábelezés viszonylag egyszerűen kivitelezhető, amit egy kevésbé gyakorlott szakembernek feltétlen figyelembe kell vennie. Hátrányt jelent viszont a korlátozott kapacitás és hossz. De ez csak akkor jelent igazán hátrányt, ha az igények meghaladják a korlátozásokat.

A többcsatornás analóg átviteli FDM technika fő előnye a nagy kapacitása. Ez a technika a forgalom tág variációját képes lebonyolítani akár több csatornán keresztül is, és aktív erősítők közbeiktatásával nagy területet képes lefedni. A fizikai megvalósítás a már kiérlelt CATV technológiára épül, amelynek alkotó elemei megbízhatóak és jól hozzáférhetők. A hátránya ennek a technológiának, hogy jóval bonyolultabb, mint a digitális technika és a telepítése, valamint a karbantartása gyakorlott szakembert igényel. Az átlagos átviteli késleltetés az állomások között kétszerese a hasonló mértékű, de digitális technika alkalmazásával kialakított hálózatoknál mért adatokénak. Ez a hátrány megmutatkozik a teljesítő képességben és a hatékonyságban is.

A két átviteli technika közötti választás mindig az adott költségtényezőktől függ.

2.5 Vonal topológiájú HSLN hálózatok

A HSLN hálózatok, amelyek vonal topológiájúak, nagyon sok tekintetben hasonlóak a vonal topológiájú LAN hálózatokhoz. Az adatok ebben az esetben is csomag formájában szállítódnak és a multipont kapcsolódás miatt szükség van itt is megfelelő medium access protocolra. A lényeges különbség a jelentősen nagyobb adatátviteli sebességben mutatkozik meg a HSLN-ek javára. A kereskedelmi HSLN termékek esetén ez a sebesség 50 Mbps és ugyanennyit ír elő az ANSI szabvány is. A LAN-ok esetén ez a adat tipikusan 10 Mbps vagy ennél kevesebb. A nagyobb átviteli sebesség miatt a költségek magasabbak és a technikai jellegű megszorítások erősebbek. Az összeköthető berendezések száma is kevesebb (mindössze 10-20) és a hossz is rövidebb (kevesebb, mint 1 km).

A HSLN hálózatok az egycsatornás digitális átviteli technikát, valamint az egycsatornás analóg átviteli technikát alkalmazzák. Mindkét esetben a fizikai közeg a 75 Ohmos koaxális kábel. Digitális technikát alkalmaz HYPER-channel, amely a legelterjedtebb HSLN rendszer. Egycsatornás analóg technikát alkalmaznak viszont a CDC a HSLN rendszerében és várhatóan ez válik ANSI szabvánnyá. Elmondható, hogy mindkét rendszer közel azonos tulajdonságokkal rendelkezik.

3. Gyűrű topológia

A vonal/fa topologiák fő alternatívája a gyűrű alakú (ring) topológia. A gyűrű topológia főleg Európában terjedt el és csak nehezen nyert teret az USA-ban. Ennek oka, hogy az USA-ban leginkább az ETHERNET, valamint a MITRENET hálózatokat alkalmazták kezdetben. A jelek azonban azt mutatják, hogy a gyűrű topológia egyre inkább vetélytárs lesz az USA-ban is. Ennek oka, hogy az IBM kutatásokat indított be a gyűrű topológiájú LAN-ok kifejlesztésére és várható, hogy ilyen termékekkel jelenik meg a piacon. Ezzel egyidőben az IEEE 803.2 ring szabvány kialakítása is befejezéhez közeledik.

3.1 Ring LAN-ok jellegzetességei

Valameny gyűrű alakú LAN bizonyos számú repeaterből áll, amalyek mindegyike két másikhoz van csatolva egy egyirányú átviteli kapcsolattal úgy, hogy egy zárt irányított kört alkotnak. Az adatok bitenként szekvenciálisan továbbítódnak a gyűrű mentén az egyik repeatertől a rákövetkezőhöz. Minden repeater újragenerálja és küldi a biteket.

Egy gyűrű számára ahhoz, hogy kommunikációs hálózatként működjék, a következő három funkció szükséges:

- adatbeszúrás a gyűrűbe,
- adatfogadás és
- adatkivétel a gyűrűből.

Ezeket a funkciókat a repeaterek szolgáltatják megfelelő medium access protocolok alkalmazásával. Minden repeater azon kívül, hogy aktív szerepet játszik a gyűrűben, csatlakozási pontként is szolgál az állomások számára. Az adatok csomagok formájában szállítódnak, amelyek tartalmazzák a rendeltetési állomás címét. Amikor egy csomag átmegy valamely repeateren keresztül, a rendeltetési cím lemásolódik. Ha a repeaterhez csatlakozó állomás felismeri a címet, akkor a csomag fennmaradó része is lemásolódik. Különböző stratégiákat használnak annak eldöntésére, hogy miként történjék a csomagok rátétele a gyűrűre, valamint hogyan történjék a levételük a gyűrűről. Ezek a stratégiák a medium access protocolok. A repeaterek az adatok beszúrását, valamint az adatok fogadását a kommunikációs gyűrűről hasonlóképpen végzik, mint a csatlakozási pontok (tap) a vonal/fa topológiájú LAN-ok esetén, ahol ezeken a csatlakozási pontokon keresztül kapcsolódnak az állomások a hálózathoz. Az adatkivétel azonban a gyűrű esetén bonyolultabb. A vonal/fa topológiájú LAN-oknál a kommunikációs vonalra felvitt jel egészen a vonal végéig terjed, ahol elnyelődik (a véglezáró törli a jelet, és ezáltal "megtisztítja" az átviteli közeget). Azonban, mivel a gyűrű zárt kör, valamely adatcsomag végtelen ideig a kommunikációs vonalon maradna, ha nem távolítjuk el. A probléma kezelésére általában a következő két megoldást alkalmazzák:

1. az adatot a megcímzett repeater távolítja el, illetve
2. az adatot az a repeater távolítja el, amelyik a gyűrűbe beszúrta, miután az adat egy kört megtett.

Ez utóbbi módszer látszik előnyösebbnek, mivel megengedi az automatikus nyugtázást és ugyanakkor lehetővé teszi valamely csomag továbbítását több rendeltetési ponthoz is. A repeatereknek az elmondottak szerint a következő két fontos funkciójuk

van:
- elősegítik a gyűrű működését azáltal, hogy továbbítják az adatokat,
- ugyanakkor csatalakozási pontként szolgálnak az állomások számára az adatküldéshez és az adatfogadáshoz.

A két funkciónak megfelelően valamely repeaternek két állapota létezik: fülelő állapot és átvitel állapot. A fülelő állapotban minden bit, amelyet a repeater fogad, rövid késleltetéssel továbbküldődik. A késleltetés alatt a repeaternek lehetősége van bizonyos megkövetelt funkciók elvégzésére. Maga a késleltetés bit-idő nagyságrendű. (Egy bit-idő azt az időt jelenti, ami alatt a repeater egy bitet képes az átviteli gyűrűbe továbbítani.) A szükségképpen elvégzendő funkciók a következők:
- Letapogatja az áthaladó bitsorozatot, ami alapján képes bizonyos bitsablonok, pl. címek vagy címsablonok felismerésre. Ehhez természetesen ismernie kell a csomagok formáját.
- Ha a csomag a kapcsolódó állomás címét tartalmazza, akkor másolatot készít minden bejövő bitről, elküldi azt a kapcsolódó állomáshoz, mialatt folytonosan újraküld minden bitet.
- Bejövő biteket módosít. Bizonyos vezérlési stratégiák szerint a bejövő bitek módosíthatók, például annak jezésére, hogy a csomag megérkezett. Ez az információ egyben nyugtaként is szolgálhat.

Ha repeaterhez kapcsolódó állomásnak van küldendő adata és a repeaternek engedélye van a küldésre (ez a Medium Access Protocol-tól függ), akkor a repeater belép az átvitel állapotba. Ebben az állapotban a repeater fogadja a biteket az állomás felől és újraküldi őket a kimeneti pontján a gyűrű felé. Ebben a küldő fázisban a bemeneti ponton a gyűrű felől is megjelenhetnek bitek. Két lehetőség van, amelyeket különbőzőképpen kell kezelni.
- A bejövő bitek az éppen küldés alatt levő csomaghoz tartoznak. Ez akkor történhet meg, ha a gyűrű "bit-hossza" rövidebb, mint a csomaghossz. Ebben az esetben a repeater a bejövő biteket az állomás felé továbbítja, amely ellenőrzi azokat és nyugtaként értelmezi őket.
- Bizonyos vezérlő stratégiáknál lehetséges, hogy több csomag is legyen egyidejűleg a gyűrűn. Ha a repeater küldés közben valamely más csomag bitjeit fogadja, amelyek eredetét nem tudja, akkor szükségképpen időlegesen tárolnia kell azokat annak érdekében, hogy később továbbíthassa őket.

A fülelő és az átvitel állapotok már elegendőek a gyűrű megfelelő működtetéséhez. Van egy harmadik állapot is: az elkerülés (bypass). A bypass állapotban a bypass relé aktivizálódik, ami azt jelenti, hogy az átmenő jelek továbbítása csak az átviteli közeg általános késleltetésének megfelelő. Az elkerülés állapotnak két fontos előnnye van: (1) részleges megoldást nyújt bizonyos megbízhatósági problémákhoz (ld. később). (2) növeli a hatékonyságot azáltal, hogy kiküszöböli a repeater késleltetést azoknál az állomásoknál, amelyek nem aktívak a hálózatban.

A gyűrű megvalósulhat sodort érpár, koaxalis kábel vagy üvegszálas optikai vezető segítségével.

3.2 A gyűrű topológia potenciális problémái

A gyűrű topológia elterjedését a következő problémák nehezítették:

- *A kábelek sérülékenysége.* Bármely szakadás a repeaterek összekapcsolásában az egész hálózatot működésképtelenné teszi egészen addig, amíg a sérült részt ki nem cserélik.
- *A repeaterek meghibásodása.* Bármely repeater meghibásodása szintén az egész hálózatot működésképtelenné teszi. Sok hálózatban az állomásokat kikapcsolhatják, ugyanakkor a kapcsolódó repeatereknek megszakítás nélkül működniük kell.
- *A karbantartás nehézkessége.* Ha akár egy repeater, akár az összkötő kábel megsérül, a hiba lokalizálása az egész gyűrű átvizsgálását igényli, ami azt jelenti a gyakorlatban, hogy minden berendezéshez hozzá kell tudni férni. Szokás ezt a "kulcsokkal tele zseb" problémájának is nevezni.
- *Nehézkes installálás.* Egy új repeater installálása szükségképpen megköveteli a szomszédos repeaterek azonosítását. Azonosítani kell, hogy ők valóban szomszédosak (a hálozati dokumentáció sohasem pontos). Fel kell fűzni a hálózatba az új repeatert. A kábelezésnél sajátos problémák merülhetnek fel, amelyek megnehezíthetik a karbantartást is.
- *Korlátozott méret.* Az állomások száma valamely gyűrűn gyakorlatilag felülről korlátos. A korlátozást indokolják az előbbi karbantartási és megbízhatósági problémák, de határt szab az állomások száma növelésének az összeadódó repeateri késleltetés is. Általában néhány száz állomás felfűzésére kínálkozik lehetőség.
- *Indítás és a hibás állapot felszámolása.* Annak érdekében, hogy elkerüljük azt, hogy valamely csúcspontot vezérlőként jelöljünk ki, elvesztve ezzel az osztott vezérlés előnyeit, külön kell gondoskodni arról, hogy az összes állomás megfelelően "simán" kommunikáljon, ha a rendszert indítjuk, illetve ha hibás helyzetet kell kezelni. Ilyen helyzet áll pl. elő akkor, ha egy csomag megsérül valamely átviteli vonali hiba miatt, és ezért egyetlen repeater sem távolítja el a gyűrűről. Ennek eredménye az, hogy a szóban forgó csomag körkörösen cirkulál a gyűrűben.

Ez utóbbi probléma kezelése a hozzáférési protokoll tervezéséhez tartozik, a többi viszont a gyűrű topológia további finomításával kiküszöbölhető.

3.3 A gyűrű topológia továbbfejlesztése

A gyűrű topológia potenciális problémáinak felismerése új, tökéletesített architektúra kialakításához vezetett, amely lehetővé teszi viszonylag nagy kiterjedésű lokális hálózat kialakítását is. Az új architektúra főleg az IBM keretében folyó kutatások eredménye, amelyben részt vettek az MIT munkatársai is. Az eredmény egy olyan gyűrű alapú hálózat, amely vonali koncentrátorokkal és átemelő hidakkal egészült ki.

A vonali koncentrátor vízuális értelemben egy centrális hely, amelyen keresztül futnak az repeaterek közötti kapcsolatok vezetékei. Bármely két állomás közötti kapcsolat az egyik állomás felől a vonali koncentrátor felé, majd onnan a másik állomás felé haladó kapcsolatból áll. Ebből számos előny származik. Mivel bármely kapcsolaton lévő jel egyetlen centrális helyen elérhető, ezért egyszerű az esetleges hiba lokalizálása. Egy üzenet bocsátható a gyűrűbe és nyomon követhető, hogy milyen messze jut el hibátlanul. A hibás szegmens lekapcsolható és későbbiekben javítható. Új repeater könnyen kapcsolható a gyűrűhöz. Mindössze két új kábelt kell lefektetni a vonali koncentrátor és az új repeater közé és ezután a vonali koncentrátornál már könnyen ki lehet alakítani a gyűrű új szerkezetét.

Az elkerülő relé a repeaterből a vonali koncentrátorba helyezhető át. A relé automatikusan lekapcsolhatja a repeaterjét és a két vonalat, ha hibát észlel. Ennek egy további előnye, hogy bármely két szomszédos ismétlő között megközelítőleg mindíg ugyanakkora az átviteli út és ezért a jelszint két repeater között kevésbé ingadozik, így az átviteli rendszer illesztése egyszerűbb.

A vonali koncentrátor a kábelhibák és a repeaterek hibáinak gyors felismerését és lokalizálását teszi lehetővé. Ugyanakkor mégis egyetlen hiba akár az egész hálózat működését időlegesen felfüggesztheti. Gyakorlatilag továbbra is korlátos az alkalmazható repeaterek száma, mivel minden repeater egy bizonyos késleltetést ad a gyűrű működéséhez. Végül kiterjedt hálózat esetén egyetlen vonali koncentrátor alkalmazzásánál a kábeligény túl nagy lehet.

Ez utóbbi problémák is leküzdhetők, ha olyan architektúrát tekintünk, amely több gyűrűből áll és minden gyűrűben akár több vonali koncentrátor is lehet. Az egyes gyűrűben a vonali koncentrátorok sorba vannak kapcsolva, az egyes gyűrűket pedig hidak (bridge) kapcsolják össze. A hidak, mint általában, a forgalom lokalizálására szolgálnak. Valamely híd a címzés alapján az egyik alhálózatból a másikba továbbítja a csomagokat. Fizikailag minden gyűrű függetlenül működik minden más gyűrűtől, még akkor is, ha őket egy híd kapcsolja össze. Logikailag valamely híd transzparens forgalomvezérlést valósít meg a kapcsolódó két gyűrű között.

A híd a következő öt funkciót látja el:

1. A beérkező csomagok szűrése. Valamely híd minden kapcsolódó gyűrűben figyeli a forgalmat és másolatot készít minden olyan csomagról, amely rendeltetési címe egy másik kapcsolódó gyűrűben van. Ezt a funkciót egy olyan repeaterrel lehet például végrehajtani, amely úgy programozható, hogy felismerje a címek bizonyos családját az egyes címek helyett.
2. A beérkező csomagok időleges tárolása. Az időleges tárolásnak két oka lehet: egyrészt a gyűrűk közötti forgalmi csúcs, másrészt a kimenő buffer foglaltsága.
3. Gyűrűk közötti átkapcsolás. Minden csomag a hidon keresztül jut el a rendeltetési címet tartalmazó gyűrűbe.
4. A kimenő csomagok időleges tárolása. Előfordulhat, hogy a kimenő csomagot időlegesen tárolni kell a rendeltetési címet tartalmazó gyűrűbe történő továbbítás előtt, várakozva a beszúráshoz alkalmas pillantra.
5. Csomagtovábbítás. Ez a funkció egy közönséges repeaterrel is végrehajtható.

A hidak alkalmazásából két fő előny származik. Valamely gyűrű meghibásodása csak a hálózat egy részét érinti, valamely híd meghibásodása viszont nem érinti a kapcsolódó gyűrűkön belüli kommunikációt. Több gyűrű alkalmazása javíthatja a működés hatékonyságát még abban az estben is, ha egyetlen gyűrű kapacitását már túlléptük.

A vázolt architektúra bizonyos hátrányait is meg kell említeni. A gyűrű automatikus nyugtázási lehetősége elvész. Magasabb szintű protokollokat kell alkalmazni a nyugtázáshoz. Az átviteli hatékonyság nem biztos, hogy javul, ha a gyűrűközi forgalom túl nagy. Nagyon meggondoltan kell az egyes berendezéseket az egyes gyűrkhöz hozzárendelni.

3.4 A vonal/fa és a gyűrű összehasonlítása

Azon felhasználók számára, akik nagyszámú berendezést akarnak működtetni és nagy átviteli kapacitást igényelnek, az analóg vonal/fa, illetve gyűrű topológiájú LAN-ok a legalkalmasabbak. Alacsonyabb igények mellett a választás a digitális vonal/fa LAN és a gyűrű LAN között már nem ennyire egyértemű.

A digitális vonal/fa egyszerűbb rendszer. Passzív csatlakozókat alkalmaz az aktív repeaterek helyett. Az átviteli közeg meghibásodásának valószínűsége kisebb és nincs szükség bonyolult hidak és vonali koncentrátorok alkalmazására.

A legfontosabb érv a gyűrű mellett, hogy eltérően a vonal/fa architektúrától, pont-pont kommunikációs kapcsolatra épül, aminek számos következménye van. Mivel az átviteli jel minden repeaterben újragenerálódik, az átviteli hiba valószínűsége nagyon kicsi és nagyobb távolság fedhető le. A gyűrű optikai vezetőkből is kiépülhet, amelyek átviteli sebessége sokkal gyorsabb és kiváló az elektromagnetikus interferencia-karakterisztikájuk. Az elektronikai felépítése és a karbantartása a pont-pont kapcsolati vonalaknak egyszerűbb, mint a multipont kapcsolatnak. Másik előnye a gyűrűnek feltéve, hogy a továbbfejlesztett architektúrát alkalmazzuk, hogy a hiba elkülönítése és javítása egyszerűbb, mint a vonal/fa architektúra esetén.

4. Medium Access Control Protocols

A lokális hálózatokat (LAN, HSLN, CBX) speciális berendezések alkotják, amelyek megosztva használják a hálózat átviteli kapacitását. A hálózat átviteli kapacitásához való hozzáférést irányítani kell annak érdekében, hogy bármely két alkotóelem képes legyen adatot cserélni, ha erre igénye felmerül. Mindazokat az algoritmusokat, amelyek a szállító kapacitáshoz való hozzáférést koordinálják, medium access protocoloknak (MAP), vagy más néven hozzáférési protokolloknak nevezzük.

A hozzáférés vezérlésénél alapvetően két kérdés merül fel:

(1) hol van a vezérlés és

(2) hogyan történik a vezérlés.

A hollét alapján a vezérlés lehet centralizált, valamint osztott. A centralizált vezérlés a következő előnyökkel jár:

- Magasabb szintű vezérlés valósítható meg a hozzáféréssel kapcsolatban, amely kiterjedhet prioritások kezelésére, felülbírálásokra és grantált átviteli kapacitásokra.
- Lehetővé teszi, hogy az egyes állomások logikája egyszerű legyen.
- Elkerülhetők a koordinációs problémák.

A centralizált vezérlés hátrányai:

- Egyetlen helyen történő meghibásodás az egész rendszer működésképtelenségét eredményezi.
- A központi vezerlő szűk keresztmetszet lehet, csökkentve ezáltal a hatékonyságot.

Az osztott vezérléssel kapcsolatos pro és kontra vélemények a fentieknek éppen a tükörképei. A hozzáférés vezérlését nagyban meghatározza a hálózati topológia, a költségek, a hatékonyság és a bonyolultság együttes figyelembe vétele. A hálózati elérés vezérlésénél figyelembe kell venni, hogy egyidejűleg jelentkező több adatátvitel megosztva használ egy egyszeres adatátviteli közeget. Ebből általában az következik, hogy valamilyen fajta multiplexelést kell alkalmazni akár időben, akár a frekvenciatartományban. A többcsatornás broadband (analóg) rendszerknél alkalmazott technikák a frekvenciaosztásos multiplexelésen (frequency-divison multiplexing, FDM) alapszik. Egyetlen csatornán belül azonban szükségképpen valamilyen fajta időosztásos multiplexelést (time-division multiplexing, TDM) kell alkalmazni. Az idősztásos hozzáférési technika lehet szinkron vagy aszinkron. Szinkron technikák esetén bizonyos átviteli kapacitás van kijelölve a kapcsolatokhoz. Ilyen technikát alkalmaz a CBX rendszer. Ez a módszer nem tekinthető optimálisnak sem a vonal/fa, sem pedig a gyűrű topológiájú hálózatok esetén. Az állomások igényei ezekben az esetekben nem jósolhatók meg előre és ezért az átviteli kapacitást aszinkron (dinamikus) módon kell kijelölni a jelentkező pillanatnyi igénynek megfelelően.

Az átviteli közeghez való hozzáférés aszinkron időosztásos multiplexelés esetén lehet véletlen (az igény véletlen nagyságú és véletlenszerű időben jelentkezik) vagy vezérelt (valamely algoritmus vezérli az állomás hozzáféréseinek sorozatát és idejét).

Vonal topológia esetén a véletlen elérés kategóriájába tartozik a következő két általánosan használt technika:

- az átvitelt érzékelő többszörös elérés (CSMA) és az
- átvitelt érzékelő többszörös elérés ütközésfelismeréssel (CSMA/CD).

Gyűrű topológia esetén viszont a véletlen elérést a következő két általánosan használt technika támogatja:

- a regiszterbe beírás és a
- hézagolt gyűrű (slotted ring)

elérési módszerek.

A vezérelt hozzáférésre példák lehetnek a LAN-ok számára kidolgozott token busz (vezérjeles busz) és token ring (vezérjeles gyűrű) technikák, amelyeket az ütközések elkerülésére alkalmaznak, de ide sorolhatók a legáltalánosabb HSLN technikák is. Az aszinkron technikák mindegyikét széles körben használják a LAN-ok és a HSLN-ek körében is.

4.1 Vonal/fa LAN-ok

Az összes lehetséges lokális hálózati topológiák közül a hozzáférési protkollok szempontjából a vonal/fa topológiák vetik fel a legtöbb problémát és ezek kezelése a legösszetettebb. Sok, a gyakorlatban is használatos megoldás létezik, a továbbiakban azonban csak a CSMA/CD és a token bus technikával foglalkozunk részletesebben, mivel ezek a legelterjedtebbek és az IEEE 802 Bizottsága is ezekkel kapcsolatban alakított ki szabványokat. Az *5. táblázat* e két leggyakrabban használatos elérési tecnika összehasonlítását adja.

4.1.1 CSMA/CD

A vonal/fa topológiak esetén legáltalánosabban használatos hozzáférési protokoll a Carrier Sensing Multiple Access/Collision Detect (CSMA/CD - többszörös elérés szállításérzékeléssel/ ütközésfelismeréssel) protokoll. Az eredeti baseband (digitális) verziót az ETHERNET alkalmazza, míg az eredeti broadband (analóg) verzió a MITRENET hálózati rendszer része.

A legegyszerűbb verzió a CSMA, amelyet hallgatózás küldés előtt (listen before talk - LBT) algoritmusnak is szokás nevezni. Valamely állomás mielőtt küldene, belehallgat az átviteli közegbe, hogy érzékelje: van-e valamilyen átvitel folyamatban az adott pillanatban. Ha nincs az adott pillanatban átvitel, akkor ezt úgy értékeli, hogy szabad küldenie. Ellekező esetben az állomás kivár egy adott időintervallumot és újra próbálkozik a küldéssel a következőkben ismertetésre kerülő valamelyik "elszántsági" algoritmus szerint. A küldés után az állomás valamely ésszerű ideig nyugtázásra vár a fogadó állomás felől. A várakozás hosszát befolyásolja a közeg bejárásából származó késleltetés (round-trip propagation delay) és annak figyelembe vétele, hogy a nyugtázó állomás is verseng az átviteli közeg eléréséért. A nyugta elmaradása esetén az állomás a küldést sikertelennek ítéli és újraküldi a csomagot az előzőek szerint.

A CSMA algoritmus akkor hatásos, ha a csomagküldési idő (az az idő, ami alatt a csomag "rákerül" az átviteli közegre) sokkal hosszabb, mint a csomagterjedési idő a közegben. Ütközés akkor következik be, ha egyszerre két állomás is elkezd küldeni egy közegbejárási perióduson belül. Ha az alatt az intervallum alatt, amíg a csomagot bevezető jelzés elér a legtávolabbi pontra is, nem történik ütközés, akkor a küldő állomás gyakorlatilag lefoglalja az átviteli csatornát és a továbbiakban a csomag küldése zavartalan lesz.

A CSMA algoritmus alkalmazásakor egy további algoritmus alapján kell dönteni arról, hogy mit tegyen valamely állomás, ha az átviteli közeget foglaltnak érzékeli. Ez utóbbi algoritmusokat annak alapján osztályozzák, hogy az illető állomás milyen mértékben tart ki a küldés megindításának szándéka mellett a következő lehetséges pillanatban (abban a legközelebbi pillanatban, amikor az átviteli közeg szabaddá válik). A gyakorlatban a következő három "elszántsági" algoritmust (persistence algorithms) alkalmazzák:

(1) *Nincs elszántság.* Az állomás, ha az átviteli közeget foglaltnak találja, egy véletlen ideig várakozik és ennek leteltével újrakezdi a hallgatózást.

(2) *1-szinten elszánt.* Az állomás, ha az átviteli közeget foglaltnak találja, folytatja a hallgatózást, amíg az átviteli közeg üres nem lesz és ekkor elkezd küldeni.

(3) *p-szinten elszánt.* Az állomás, ha az átviteli közeget foglaltnak találja, folytatja a hallgatózást, amíg az átviteli közeget üresnek nem érzékeli, ekkor valamely előre adott p valószínűséggel elkezd küldeni és 1-p valószínűséggel egy konstans ideig késlelteti a küldés megkezdését. Ennek leteltével ha az átviteli közeg ismét üres, akkor ez az algoritmus ismétlődik, ha pedig foglalt, akkor az átvitel egy későbbi időpontra ütemeződik ugyanúgy, mint az elszántság nélküli algoritmus esetén.

A elszántság nélküli algoritmus hatékony az ütközések elkerülése szempontjából mivel, ha két állomás akar küldeni amikor az átviteli közeg foglalt, akkor várhatóan különböző ideig várakoznak, elkerülve ezzel az ütközést. A hátránya ennek az algoritmusnak, hogy az átviteli közeg valamely szállítás befejeződése után még egy ideig üres marad még akkor is, ha lenne mit szállítania. Ezzel ellentétben, az 1-szinten elszánt algoritmus csökkenteni igyekszik az üresjárás idejét azzal, hogy az egyes állomásoknak azonnal lehetőségük van küldeni, ha az átviteli közeget szabadnak érzékelik. Ha viszont egynél több állomás várakozik, akkor szinte biztos, hogy ütközni fognak. A p-szinten elszánt algoritmus az előző kettő kompromisszuma abban, hogy egyidejűleg igyekszik minimalizálni az ütközéseket és a kihasználatlan időt.

A CSMA/CD algoritmus, amelyet szokás hallgatózik, amíg küld (listen while talk) algoritmusnak is nevezni, megpróbálja kiküszbölni a CSMA azon nyilvánvaló hátrányát, hogy az átviteli közeg gyakorlatilag kihasználatlan marad ütközés esetén legalább is az ütköző csomagok átviteli ideje alatt. Az információ ugyanis már sérült, de az átvitel feleslegesen folytatódik. Ha a csomag küldési ideje lényegesen hosszabb, mint a terjedési ideje, akkor ez az elveszett kapacitás jelentős is lehet. A CSMA/CD azzal igyekszik kiküszöbölni ezt a helyzetet, hogy folytatja a hallgatózást a küldés alatt is és a következőt teszi:

(1) Ha ütközést észlel az átvitel folyamán, akkor rögtön félbehagyja a küldést és egy rövid zavarjelet (jam) küld annak érdekében, hogy az összes többi állomás tudja, hogy ütközés történt.
(2) A zavarjel elküldése után egy véletlen ideig várakozik, majd megkísérli az újraküldést valamely CSMA algoritmus szerint.

A CSMA/CD alkalmazásával lehetővé válik az átviteli közeg ütközés utáni fölöslegesen lefoglalt idejét arra az időre redukálni, amíg az összes állomás tudomást nem szerez az ütközésről.

Egycsatornás digitális átvitelnél, még ha a két legtávolabbi állomást tekintjük is, az ütközés felismerésének ideje a küldőnél maximum a terjedési idő kétszerese.

Többcsatornás analóg technika alkalmazásakor (egyirányú a terjedés, külön kimenő és bemenő utak) a legszélsőségesebb eset, ha a lehető legközelebb van egymáshoz a két állomás és ugyanakkor a lehető legtávolabb vannak az állomások a fej végponttól. Ekkor az ütközés felismerésének az ideje a küldőnél a legtávolabbi állomástól a fej végpontig szükséges terjedési időnek akár a négyszerese is lehet.

Mindezek miatt a CSMA/CD esetén a csomagok hosszára alsó korlátként a terjedési idő kétszeresét, illetve a fej és az állomások közötti késleltetés négyszeresét kell alkalmazni attól függően, hogy baseband vagy broadband átvitelt használunk.

Hasonlóan a CSMA algoritmushoz, a CSMA/CD algoritmus a három "elszántsági" algoritmus valamelyikét alkalmazza. Meglepő, hogy az 1-szinten elszánt algoritmus alkalmazása a legelterjedtebb. Ezt alkalmazza mind az ETHERNET, mind pedig a MITRENET és ez szerepel az IEEE 802 nemzetközi szabványában is. Mint már elemeztük, a elszántság nélküli algoritmus esetén a problémát a ki nem használt átviteli kapacitás jelenti. Habár a p-szinten elszánt algoritmus ebből a szempontból már hatékonyabb, de a várakozás miatti ki nem használt átviteli kapacitás még így is jelentős. Az 1-szinten elszánt algoritmus kiküszöböli a felesleges várakozást, de megnöveli az ütközések miatti kezelési időt az átviteli csatornán.

A helyzetet az menti meg, hogy az ütközések miatt elveszett idő szerencsére rövid, ha a csomagok küldési ideje viszonylag hosszú a terjedési időhöz képest. Véletlen idejű visszatartás esetén, az ütközésben résztvevő két állomás számára nagyon valószínűtlen, hogy újra ütközni fognak a következő próbálkozásukkor. A helyzetet stabilizálja a bináris exponenciális késleltetési algoritmus alkalmazása. Ez azt jelenti, hogy ha egy állomás ismételten ütközik a küldéskor, akkor a vélelen késleltetési idő várható értéke megduplázódik. Ha egy adott számú ütközés bekövetkezik, akkor az állomás eláll a küldési szándékától és hibát jelez.

A CSMA/CD megvalósítása az egycsatornás digitális és a többcsatornás analóg rendszereknél lényegében ugyanaz, de van bizonyos különbség is. Az egyik ilyen különbség a szállítás érzékelésében mutatkozik meg. Digitális jeltechnika esetén a feszültségi szint pulzálásának folyamatát, míg analóg jelek esetén rádiófrekvenciás szállítást kell érzékelni.

A másik különbség az ütközés felismerésében mutatkozik meg. Digitális jeltechnika esetén az ütközés eredménye egy magasabb feszültségi szint létrejötte. Az adó/vevő abból következtet ütközésre, ha a jel a kábelen meghaladja azt a szintet, amelyet az adó/vevő saját maga elő tud állítani. A jel gyengülése a következő problémához vezethet: Ha a két állomás meglehetősen távol van egymástól, akkor mindkét állomás nagyon legyengült jelet fogad egymás felől. A jel erőssége olyan kicsi is lehet, hogy hozzáadódva az átvitelre átadott jelhez az adó/vevő oldalán, nem alkot együttesen olyan erős jelet, amely meghaladja az ütközési küszöböt. Ez az oka annak, hogy az ETHERNET hossza limitált (500 m). Ahogy a keretek, úgy az ütközés is áthaladhat az adó/vevőn. Ezért ha egy adó/vevő ütközést érzékel az egyik oldalon, akkor zavarjelet kell küldenie a másik oldal felé.

Különböző módszerek léteznek az ütközés felismerésére a többcsatornás analóg technika esetén. A legáltalánosabban használt módszer ezek közül, amikor a küldött és a fogadott jeleket bitenként összehasonlítják. Ha egy állomás küld a bejövő csatornán, akkor bizonyos késleltetés után hallgatózni kezd a kimenő oldalon (a fej szempontjából bejövő, illetve kimenő oldal). Ez a terjedésből adódó késleltetés megfelel annak, amíg a jel eljut a kábel elejére (a fejhez) és vissza. A MITRE rendszernél a küldött és a fogadott jelnek az első 16 bitje kerül összehasonlításra. Ha különbség mutatkozik, akkor ütközést feltételeznek. A legnagyobb veszély akkor jelentkezik, ha a jelek szintje annyira különböző, hogy ütközésnél az egyik jelet az adó/vevő pusztán zajnak fogja fel a másik jelhez képest és nem fogja fel ezáltal az ütközést. Másik probléma a kettős kábelezettségű rendszereknél abból adódik, hogy valamely állomásnak egyidejűleg kell küldenie és fogadnia ugyanazon frekvenciatartományban. A két rádiófrekvenciás modemet nagyon jól árnyékolni kell, hogy elkerüljük az áthallást.

A többcsatornás analóg rendszereknél alkalmaznak olyan módszert is, amelynél az ütközést a kábel elején (head end) figyelik.

4.1.2 Token bus

Token bus technikáról akkor beszélünk, ha valamely vonal vagy fa topológiájú redszerben az állomások logikai értelemben egy zárt gyűrűt alkotnak. Minden állomás (csúcs) tudja az őt logikailag megelőző, ill. rákövetkező állomás azonosítóját. Egy vezérlő csomag, amit tokennek nevezünk, irányítja a gyűrűhöz való hozzáférést. Ha valamely állomás birtokolja ezt a tokent, akkor bizonyos ideig használhatja az átviteli közeget. Ezalatt küldhet egy, vagy akár több csomagot is, lekérdezhet más állomásokat és fogadhat válaszokat. Ha az állomás befejezte a ténykedését, vagy lejárt az ideje, akkor a tokent továbbítja a rákövetkező állomáshoz. Egy már beállt állapot tehát adatátviteli és tokenátviteli fázisokból áll. Megengedett, hogy valamely állomásnak ne legyen önálló igénye átvitelre (non-token-using station). Ezek az állomások csak kérdésre válaszolhatnak vagy fogadást nyugtázhatnak. Fontos hangsúlyozni, hogy az állomások logikai sorrendje független az állomások fizikai elhelyezkedésétől.

A token bus algoritmus jelentős kezelői feledatok elvégzését igényli. A következő funkciókat kell feltétlen ellátni együttesen vagy egyenként a gyűrűhöz tartozó állomásoknak:

- *A gyűrű bővítése.* A gyűrűn nem levő állomásoknak periódikusan lehetőséget kell adni, hogy felkerüljenek a gyűrűre.
- *A gyűrű szűkítése.* Valamely állámásnak lehetőséget kell adni, hogy lekerüljön a gyűrűről, rövidre zárva az őt megelőző és a rákövetkező kapcsolatát.
- *Hibakezelés.* A gyűrű működése során számos hiba előfordulhat. Ilyen hiba pl. ha két vagy több állomás ugyanazzal a címmel rendelkezik, vagy esetleg a megadott címmel egyetlen állomás sem rendelkezik (a gyűrű szétesése).
- *Gyűrű inicializálása.* Ha a hálózat indul, vagy a szétesett állapotot kell helyrehozni, akkor a gyűrűt inicializálni, illetve újrainicializálni kell. Számos decentralizált kooperatív algoritmust kell alkalmazni annak eldöntésére, hogy ki legyen az első, második, stb.

Az IEEE 802 szabvány a fenti funkciók elvégzésére a következő algoritmusokat ajánlja.

A gyűrű bővítésének kezelése. A gyűrűn levő összes csúcsnak felelőssége, hogy periódikusan lehetőséget biztosítson más, a gyűrűn nem levő csúcsok számára, hogy felkerüljenek a gyűrűre. Ha valamely gyűrűn levő csúcsnál van a token, akkor az egy "rákövetkezőként belépésre felkérés" csomagot küldhet (solicit-successor packet), amelyben egy belépési címet ad meg, amellyel a kivülálló csúcsok valamelyike felvételét kérheti a gyűrűbe az invitációt kiadó csúcs után közvetlenül. A invitáló csúcs ezután várakozik az átviteli közeg befutási idejének kétszereséig (egy válaszablaknyit) a válaszra. Ha ezalatt nem érkezik válasz, akkor az invitáló csúcs továbbadja a tokent a már ismert módon. Ha érkezik válasz, akkor a kérelmező lesz az invitáló rákövetkező csúcsa és a token átadódik a gyűrűbe éppen felvett csúcshoz. Ez azután az befejezi a gyűrű bezárását. Ha több válasz is érkezik az invitációra, akkor a válaszok interferálnak és hibás átvitelt érzékel az invitáló. Ez a versenyhelyzet a következő, a címzésen alapuló algoritmussal oldható fel. A versenyhelyzetben az invitáló egy a "versenyhelyzetet feloldó" csomagot (resolve-contention packet) küld az átviteli közegbe és ezután négy válasz ablaknyit vár. Minden jelölt a címe első két bitje értékének megfelelő válaszablakban küldi el a kérelmét. Ha a kérelmező már előzőleg hall valamilyen választ, akkor már nem válaszol. Ha az invitáló érvényes választ kap, akkor a kiválasztás lezárult, ha nem, akkor az előzőek megismétlődnek azzal a különbséggel, hogy csak azok vehetnek részt a versenyben, akik megelőzően már válaszoltak és most a címük harmadik és negyedik bitje dönti el, hogy melyik válaszablakban válaszolhatnak. Ez a folyamat addig ismétlődik, amíg érvényes válasz nem érkezik, vagy nem érkezik válasz egyáltalán, illetve ha egy adott iterációs lépésszámot már elértünk. Az utóbbi két esetben az invitáló feladja a "küzdelmet" és a tokent továbbadja a rákövetkezőnek.

A gyűrű szűkítésének kezelése. A gyűrű szűkítése lényegesen egyszerűbben kezelhető. Ha egy csúcs le akar válni a gyűrűről, akkor megvárja, amíg a token hozzá ér és ekkor kiad egy "rákövetkező beállítás" csomagot (set-successor packet) az őt megelőző állomásnak, amivel kéri, hogy kapcsolódjék az ő rákövetkezőjére.

Hibakezelés. A hibák nagy részét már a tokent egy adott pillanatban birtokló állomás kiszűrheti.

Ez az állomás például hallhat egy olyan csomagot, amelyik egy másik token jelenlétét jelzi. Ebben az esetben a saját tokenjét rögtön megszünteti azzal, hogy visszatér hallgatózó módba. Ezáltal, ha minden tokent birtokoló csúcs így viselkedik, akkor a tokent birtokoló csúcsok száma rövid időn belül 1-re vagy 0-ra redukálódik.

Ha a tokent birtokló csúcs ideje lejár, akkor egy tokent továbbít a rákövetkezőhöz. A rákövetkezőnek azonnal küldenie kell egy adat-, vagy egy tokencsomagot. A csúcs egy válaszablaknyi időt várakozik , hogy meggyőződjék, vajon a rákövetkező aktív-e. A csúcs a következő eseteket értelmezi:

(1) Ha a rákövetkező aktív, akkor a csúcs érvényes csomagot fog hallani és ezért visszatér a hallgatózó állapotába.

(2) Ha a csúcs nem hall érvényes csomagot, akkor még egyszer kiad egy tokencsomagot a rákövetkező címére.

3) Két hiba után a csúcs feltételezi, hogy a rákövetkező hibás és ezért kiad egy "ki a következő" csomagot (who-follows packet), amelyben megkérdezi, hogy ki követi a hibás csúcsot. A csúcsnak egy "rákövetkező beállítás" csomagot (set-successor packet) kell kapnia ettől a tőle második csúcstól. Ha ez megtörténik, akkor a csúcs átállítja a rákövetkező kapcsolatát és kiad egy tokencsomagot és minden az (1) ponttól ismétlődik.

(4) Ha a csúcs nem kap választ a "ki a következő" csomagra, akkor újra megpróbál egy ilyen csomagot kiadni.

(5) Ha a "ki a következő" lekérdezése nem hoz eredményt, akkor a csúcs kiad egy "lépjen be a következő" csomagot (solicit-successor packet), amire bármely csúcs a gyűrűn válaszolhat. Ha érkezik válasz, akkor egy két csúcsból álló gyűrű alakul a válaszadóból és az eredeti csúcsból, és a működés folytatódik.

(6) Ha az (5) pontban foglaltak kétszeri ismétlése is hibához vezet (nem érkezik válasz másodszor sem), akkor a csúcs katasztrófális hibát feltétlez, felhagy minden aktivitással és visszatér hallgatózó állapotba.

A gyűrű inicializálása. A gyűrű logikai újrainicializálására akkor van szükség, ha egy vagy több állomás az átviteli közeg aktivitásának hiányát észleli. Erre abból következtet, ha egy bizonyos ideig nem kerül hozzá a token. A token eltűnését több körülmény is előidézheti. Bekövetkezhet akkor, ha a hálózatot éppen üzembe helyezik, vagy ha a tokent birtokló csúcs meghibásodik. Ha ilyen esetek előfordulnak, akkor valamely csúcs kiad egy "tokenigénylés" csomagot (claim-token packet). Az igénylő csúcsok versenyhelyzete a válaszablak módszeréhez hasonlóan oldódik fel.

4.1.3 A CSAM/CD és a token bus összhasonlítása

Jelenleg a CSMA/CD és a token bus algoritmus a két vetélytárs a vonal/fa topológiájú LAN-ok hozzáférési algoritmusainak kiválasztásánál. Tekintsük át a következőkben e két algoritmus főbb előnyeit és hátrányait összehasonlítva egymással.

Nyilvánvalóan fő hátrány a token bus számára a bonyolultsága. Az állomásokba beépített logika jóval bonyolultabb, mint a CSMA/CD esetén. A másik hátrány a bonyolultság miatt fellépő jelentős önadminisztrációs idő. Még gyenge terhelés esetén is a küldésnél ki kell várni több, az adminisztrációval kapcsolatos token áthaladását, mire a csúcs küldéshez jut.

Figyelembe véve ezeket a hátrányokat, azt hihetnénk, hogy a token busnak nincsen esélye valós alkalmazásoknál. A helyzet mégsem ez! A token bus lehetővé teszi a forgalom vezérlését viszonylag egyszerű módon. Különböző állomások például más és más ideig birtokolhatják a tokent. Eltérően a CSMA/CD algoritmustól, a token bus esetén nincs minimális csomaghossz, ugyanakkor a maga a figyelés a küldés alatt is, erős fizikai és elektronikai megszorítást jelent a CSMA/CD-re nézve. Végül pedig a token bus jelentősen felülmúlja a CSMA/CD algoritmust erős leterhelés esetén, mint azt az alábbiakban látni fogjuk.

Egy másik előnye a token busnak, hogy determinisztikus a CSMA/CD-hez képest. Az állomások várakozási idejének van egy felső határa, mivel minden állomás csak egy rögzített igeig tartja a tokent. Ez a felső határ ismert. Ellentétben ezzel, a CSMA/CD algoritmusnál a késleltetés csak statisztikusan fejezhető ki és mivel minden elküldött csomag ki van téve ütközésnek, létezik egy nem nulla valószínűség, amely szerint egy állomás sohasem képes ütközés nélkül küldeni. Folyamatirányítás és más valós idejű alkalmazások esetén ez a sztochasztikus viselkedés nem kívánatos. Meg kell azonban jegyezni, hogy a token bus esetén is pozitív a valószínűsége az átviteli hibának, aminek következménye lehet, hogy a token elvész. Ez a körülmény bizonyos statisztikus jelleget ad a token busnak is.

4.2 Ring LAN-ok

Évek folyamán több különböző algoritmust fejlesztettek ki a gyűrűelérés vezérlésére. A három legáltalánosabban használt technika a következö:
- *token ring*,
- *regiszterbe beírás* és a
- *hézagolt gyűrű.*

A *6. táblázat* ezen legfontosabb technikák összehasonlítását adja a következő főbb jellemzők szerint: *hozzáférési alkalom* kialakulásának lehtősége, a *gyűrű csomagtól való megtisztításának felelőssége*, a *gyűrűn egyidejűleg lehetséges csomagok száma*, a *fő előnye* és a *legfőbb hátránya.*

Az hozzáférési alkalom azt fejezi ki, hogy mikor szabad valamely repeaternek csomagot továbbítania a gyűrűre.

A csomagtól való megtisztítás felelőssége azt határozza meg, hogy ki távolíthatja el a csomagot a gyűrűről, megakadályozva ezzel a végtelen cirkulációt.

Meg kell jegyezni, hogy a gyűrűn levő csomagok száma nemcsak a gyűrű bithossza és az átlagos csomaghossz függvénye, hanem függ a hozzáférés módszerétől (protokolltól) is. Valamely gyűrű bithosszán egy olyan csomag hosszát értjük bitekben, amely küldésekor a vége még éppen találkozik a már körbe futott elejével.

4.2.1 Token ring

A token ring valószínű a legrégibb gyűrűelérési technika, amelyet először Famer és Newhall javasolt 1969-ben. Ezert Newhall gyűrűnek is szokták nevezni. Ez a gyűrűelérési technika vált a legnépszerűbbé az USA-ban. Az IBM elkötelezettnek látszik a token ring mellet. Ez az a gyűrűelérési technika, amelyet nemzeközi szabványként javasolnak a gyűrű topológiájú LAN-okhoz. A token ring technika egy kis token csomag alkalmazásán alapul, amely cirkulál a gyűrűn. Ha az összes állomás "idle" (egyiknek sincs küldendője), akkor a token szabad állapotban van. Ha valamely állomás, amely küldeni akar, egy szabad tokent ismer fel áthaladásakor, a szabad tokent foglaltra állítja és a token után közvetlenül elkezdi küldeni a csomagját. Igy most nincs szabad token a gyűrűn és minden más állomásnak várakoznia kell, amíg küldésre lehetőséget kap. A gyűrűre tett csomag egy kört tesz meg és ezután a küldő letakarítja a gyűrűről. A küldő állomás egy új szabad tokent fog a gyűrűre rakni, ha a következő két feltétel teljesül:

- az állomás befejezte a csomagja küldését és
- a foglalat token visszatért az állomáshoz.

Ha a gyűrű bithossza kisebb, mint a csomag hossza, akkor az első esemény maga után vonja a második esemény bekövetkezését. Ellenkező esetben azonban ha az állomás kiadna egy szabad tokent a csomagküldés befejeződésekor, de mielőtt még a foglalt token visszaérkezne, akkor előfordulhatna, hogy egyidejűleg több csomag is van a gyűrűn. Azonban ez nagyon komplikálttá tenné a hibakezelő eljárásokat. Mindenesetre ha lefeljebb csak egy token van a gyűrűn, akkor biztos, hogy egyidejűleg legfeljebb csak egy állomás küldhet. Ha a küldő állomás létrehoz egy szabad tokent a gyűrűn, akkor a sorrendben az első olyan állomás, amelynek van küldendője, ragadja meg a szabad tokent és kezdi el a küldését. A legelőnyösebb tulajdonsága a token ringnek és az előbbi ring protokollnak az a lehetőség, hogy ha a küldő állomás felelőssége a cirkuláló csomag letakarítása a gyűrűről, akkor a rendeltetési állomás biteket állíthat be a csomagban, amelyekkel jelezheti az átvitel körülményeit és egyben informálja a küldőt az átvitelről. Ez lényegében egyfajta nyugtázásnak fele meg. Az IEEE 802 szabvány a következő három ellenőrző bitet javasolja:

- A bit, jeletsése: a címet felismerték.
- C bit, jelentése: a csomagot átmásolták.
- E bit, jelentése: hiba történt.

Az A és C bitekkel kifejezhetők például a következő feltételek:

- a rendeltetési állomás nem létezik vagy inaktív,
- a rendeltetési állomás létezik, de a csomagot nem másolta át (nem fogadta),
- a csomagot rendben fogadták.

Az E bitet bármely állomás beállíthatja hiba esetén.

Két olyan hibafeltétel van, amelyik a toke ring működését lehetetlenné teszi. Az egyik akkor lép fel, ha a gyűrűn egyáltalán nincs token, a másik pedig akkor, ha egy foglalt token cirkulál állandóan. A probléma megoldására a IEEE 802 szabvány előírja, hogy az állomások közül egyet ki kell jelölni aktív monitornak. Az aktív monitor token nélküli állapotot feltételez akkor, ha egy adott időintervallum eltelik úgy, hogy a gyűrűn egyáltalán nincs token és úgy oldja fel ezt a helyzetet, hogy egy új szabad tokent hoz létre. A cirkuláló foglalt token felismeréséhez az aktív monitor egy speciális figyelő bitet használ, amit beállít, ha a foglalt token elhagyja a monitort. Ha ezután az aktív monitor egy olyan foglalt tokent érzékel, ahol figyelő bit már a be van állítva, akkor ebből arra következtet, hogy a rendeltetési állomás meghibásodott és ezért a foglalt tokent szabad tokenre állítja át. A többi állomás a gyűrűben a passzív monitor szerpét játsza. Ezek elsődleges funkciója figyelni az aktív monitor működését és átvenni ezt a szerepet, ha az aktív monitor meghibásodik. Egy speciális algoritmus oldja fel a vesrenyhelyzetet a potenciális jelöltek között és dönti el, hogy ki vegye át az aktív monitor szerpét, ha felismerést nyert, hogy az meghibásodott. A token ring technika a token busz technika sok előnyös tulajdonságában osztozik. A fő előnye talán abban van, hogy lehetősége van a forgalom ellenőrzésére egyfelől azzal, hogy korlátozott adatküldésére ad csak engedélyt az egyes állomásoknak, másfelől prioritást rendelhet az állomásokhoz úgy, hogy a magasabb prioritású állomás több csomagot is küldhet egymásután, ha erre igénye van.

A token ring hátránya, hogy szükség van speciális token kezelésre és aktív, valamint passzív monitor rendszert kell használni a hibák kiküszbölésére.

4.2.2 Regiszterbe beírás módszere

A regiszterbe beírás módszerét eredetileg az Ohio State University-n fejlesztették ki, majd ugyanezt a technikát alkalmazták többek között az IBM a Series 1 termékeiben. Az elnevezés onnan származik, hogy minden állomás egy speciális regisztert tartalmaz, amelyben az informació egy adott irányban elmozgatható (shift register) és a pillanatnyi helyzetre egy mutató mutat. A regiszternek a hossza megegyezik a gyűrűn előforduló lehetséges leghosszabb csomag hosszával. A regiszter átmenetileg tárolja azt a csomagot, amely az adott pillanatban az állomáson áthalad. Ezenfelül minden állomás tartalmaz egy buffert az illető állomásnál küldésre előkészített csomag potenciális tárolására.

A regiszerbe beírás módszere a következőképpen működik: Ha a gyűrű üres, akkor a regiszter is üres és a pointere a legjobboldali pozícióra mutat. Ha egy csomag halad át az állomáson, akkor a kezdeti bitjei jobbról bemásolódnak a shift regiszterbe és a pointer ennek megfelelően a fennmaradó üres rész jobb végpontjára mutat automatikusan. Ha a teljes cimrész bemásolódott már, akkor az állomás el tudja dönteni, hogy ő e a rendeltetési hely. Ha a csomag nem neki szól, akkor az újabb bitek érkezésekor, ezek betöltődnek a shift regiszterbe folytatólagosan jobbról balra, míg a vezető bitek elhagyják az állomást jobbról. Végül a poiter visszatér a kiindulási pozícióhoz. Ha közben másik csomag is érkezik, akkor ennek meg kell várnia, amíg az előző elhagyja a shift regisztert. Ha a beérkező csomag rendeltétse az illető állomás, akkor vagy eltávolítja a címet és fogadja a maradék részt, egyúttal törölve a csomagot a gyűrűből, vagy másolatot készít és továbbítja a csomagot, ezáltal nyugtázva a vételt. Abban az esetben, ha az állomásnak van küldendő csomagja, akkor a küldendő csomag a bufferbe kerül. Ha az állomáson nem halad át csomag, vagy az éppen áthaladó csomag vége már a shift regiszterben van, akkor a gyűrű az állomás számára szabadnak tekinthető és a csomag közvetlenül a shift regiszterbe mozgatható. Ha a csomag n bit hossza, rövidebb, mint a maximális megengedett hossz és a regiszterben van n szabad bit pozíció, akkor a csomag n bitje parallel átmozgatható a shift regiszterbe, közvetlenül a feltöltött rész után, megfelőlen illesztve a pointert.

A fő előnye a regiszterbe beírási technikának, hogy tetszés szerinti számú csomag lehet egyidejűleg a gyűrűn, ezért ez a módszer minden eddigi módszernél hatékonyabban használja ki a gyűrűt. Valamely állomás csomagot helyezhet el a gyűrűre, ha az ő oldalán nincs az adott pillanatban csomagtovábbítás a fenti értelemben.

A fő hátránya ennek a technikának a csomagletakarítás. Ha több csomag is létezhet egyidejűleg a gyűrűn, akkor az eltávolítás előtt ellenőrizni kell a címet. Ha a címrész meghibásodott, akkor a csomag elvileg végtelen ideig cirkulálhat. Ezt a rendellenességet a címterületen alkalmazott különböző hibafelismerő kódokkal lehet kezelni.

4.2.3 Hézagolt gyűrű (slotted ring)

A hézagolt gyűrű technikát először Pierce [1972] alkalmazta, ezért szokás Pierce huroknak is nevezni. A fejlesztési munkák nagy részét a University of Cambridge in Englad egyetemen végezték el és számos brit cég forgalmazza a módszert Cambridge ring néven.

A hézagolt gyűrűben bizonyos számu fix hosszúságú hézag (slot) kering folytonosan. Minden hézagnál a legelső bit jelzi, hogy foglalt-e vagy üres. Az összes hézag kezdetben üresre van állítva. Ha egy állomás küldeni akar, akkor megvárja, míg egy üres hézag elér hozzá, foglalttá állítja és feltölti az elküldendő csomagjával annak ütemében, ahogy a hézag elhagyja az állomást. Az állomás mindaddig nem küldhet további csomagot, amíg ez a csomag vissza nem érkezik. A hézag tartalmazhat válaszbiteket, amelyeket a rendeltetési hely állított be, jelezve, hogy vette a küldeményt, illetve foglalt vagy elutasította a vételt. A feltöltött hézag egy teljes kört tesz meg, amiután a küldő állomás törli a rendszerből azáltal, hogy szabaddá állítja a hézagot. Minden állomás tudja a gyűrűben keringő hézagok teljes számát és ennek alapján tudja, hogy melyik hézagot kell üresre állítania. Ha ez a szabad hézag létrejött, az illető állomás újra küldhet (akár benne) csomagot.

A Cambridge ringben minden hézag tartamazhat egy rendeltetési és egy forrás címet tartalmazó byte-ot, két adat byte-ot és öt vezérlő bitet, ami összesen 37 bitet tesz ki.

A Cambridge ringnek nehány, az előzőektől eltérő érdekes tulajdonsága van. A rendeltetési hely dönthet például arról, hogy melyik forrás felől fogad el csomagot. Egy spciális regiszter, amely egy állomás címét képes tárolni, ha csupa 1-re van állítva, akkor az állomás bárhonnan elfogad csomagot, ha csupa 0 a regiszter tartalma, akkor sehonnan sem, különben csak a beállított állomás felől. A Cambridge ring két válaszbitet használ négy különböző feltétel beállítására:

- rendeltetés nem létezik vagy nem aktív,
- a csogagot elfogadták,
- a rendeltetés létezik, de a csomagot nem fogadták, valamint
- a rendeltetés foglalt.

Vegül a Cambridge ring tartalmaz egy monitort állomást, amely felaldata az állandóan foglalt hézagok felszabadítása. A fő hátránya a Cambridge ringnek, hogy pazarlóan bánik az átviteli kapacitással. Egy hézag több ellenőrző bitet tartalmaz, mint adatbitet. Ugyanakkor valamely állomás csak egyszer küldhet a gyűrűre annak egy körbefutása alatt, ezért ha csak egy vagy néhány állomásnak van küldeménye, akkor a többi hézag kihasználatlanul kering. A fő előnye a Cambridge ringnek az egyszerűség. Az állomások interakciója a gyűrűvel minimális, ami növeli a megbízhatóságot.

4.3 HSLN hálózatok

A jelen fejezetben a prioritásos CSMA algoritmust tekintjük át, mivel a HSLN hálózatok nagy többségében ezt az algoritmust alkalmazzák. Erre az algoritmusra úgy is hivatkoznak, mint CSMA ütközés elkerüléssel. A leírásnál az ANSI draft szabvány fogalmaira hivatkozunk.

Megjegyzendő, hogy a HYPERchannel esetén alkalmazott algoritmus is nagyon hasonló a prioritásos CSMA algoritmushoz.

Az algoritmus alapja a CSMA algoritmus, ami alapján, ha egy állomás küldeni akar, akkor belehallgat az átviteli közegbe és elhalasztja a küldést, ha az átviteli közeg foglalt. További speciális algoritmus keresi annak lehetőségét, hogy elkerüljük az ütközést, ha az átviteli közeget egyszerre több állomás érzékeli üresnek egy adott pilanatban. Ennek érdekében az állomások, vagy más néven portok egy rendezett PORT(1), PORT(2),...,PORT(N) sorozatot alkotnak, amely nem szükségképpen felel meg a portok fizikai elhelyezkedésének a vonal topológia szerint.

Az algoritmus újrakezdődik minden egyes küldés után. Egy állomás csak akkor küldhet, ha egyetlen őt a sorrendben megelőző állomásnak sincs küldendője (abszolút prioritásos modell megszakítás nélkül). Ez azt jelenti, hogy a PORT(I+1) minaddig várakozni kénytelen, amíg a PORT(I) nem kapott potenciális lehetőséget a küldésre. Ezért a várakozási idő a következőkből tevődik össze:

(1) a PORT(I) potenciális várakozási ideje, ha lenne mit küldenie, plusz
(2) a PORT(I) késleltetés, ami alatt a PORT(I) számára van lehetőség a küldésre, plusz
(3) a PORT(I+1) és a PORT(I) közötti terjedési idő.

Ez a viszonylag egyszerű séma meglehetősen bonyolulttá válik, ha bizonyos finomításokat eszközlünk az algoritmuson.

Az alapalgoritmus a következő módon írható le. Minden átvitel után a PORT(1)-nek van lehetősége küldeni. Ha egy adott intervallumon belül nincs küldendője, akkor a PORT(2) kapja meg a lehetőséget, és így tovább. Bármely port is küld végül, az algoritmus előről kezdődik.

Az első finomítás azt jelenti, hogy megengedünk több csomagból álló dialógust a következők szerint. Bármely átvitel után a fogadó állomás kapja meg a jogot a küldésre. Ha ennek nincsen küldendője, akkor ez a jog a PORT(1)-re száll át, és így tovább. Ez a finomítás lehetővé teszi, hogy két állomás kisajátítsa az átviteli közeget, mialatt az egyik például küld a másik pedig nyugtáz.

A másik finomitás arra a helyzetre vonatkozik, ha egyik állomásnak sincsen küldendője. A HYPERchannel úgy oldja fel ezt a helyzetet, hogy bevezeti a mindenki számára szabad periódus fogalmát, ami alatt lehetséges az ütközés. Az ANSI megoldása elegánsabb. Ha egyetlen állomás sem él a küldés lehetőségével, akkor a legmagasabb prioritású állomás kér időt és egy dummy csomagot küld, kikényszerítve ezzel az algoritmus újrainicializálását.

A két módosítás alapján az algoritmus a következőképpen módosul:

1. Az átviteli közeg foglalt.
2. Az átviteli közeg szabaddá válik.

Ha a fogadó küld,
akkor folytatás 1-től,
különben folytatás 3-tól.
3. Ha a PORT(1) küld, akkor folytatás 1-től, különben folytatás 4-től.

.
.
.

N+3. Ha egyetlen port sem küld, akkor folytatás 1-től.

A harmadik finomítás a portok különböző prioritási szintjeit igyekszik kiegyenlíteni, mivel a fenti algoritmus alapja egy abszolút prioritásos algoritmus és így természetesen nem azonos prioritási szinten kezeli a különböző portokat. A módosítás megértéséhez a következő fogalmak szükségesek:

Prioritásos hozzáférési lehetőség. Egy adott időintervallum áll minden csomagot fogadó állomás rendelkezésére közvetlen a csomagfogadás után, ami alatt nyugtázhatja a vételt, vagy egy több csomaváltásból álló dialógust folytathat.

Prioritásos hozzáférés időmérője (Priority Access Timer - PAT) Az előző itervallum hosszát méri.

Norális (odaítélt) hozzáférési prioritás. Időintervallum, amely minden állomás rendelkezésére áll adott sorrendben. Az illető állomás ezen idő alatt kezdeményezhet átvitelt. A hozzáférések sorba rendezése az ütközések elkerülése érdekében történik.

Normális hozzáférés időmérője (Arbitrated Access Timer - AAT) Az előző intervallum hosszát méri.

Reszinkronizációs időmérő (Resynchronization Timer - RT) Azt az időt jelenti ami alatt a legkésőbbi normális prioritás szerint küldött csomagnak is meg kell érkeznie. Az összes időmérő kezdeti értékre állításához kell.

Normál sorrendet jelző zászlócska (Arbiter Wait Flag - WF) A kiegyenlítés kikényszerítésére használjuk. Ha egy port küld, akkor a WF-je beállítódik a csomagban és ennek alapján az illető állomás mindaddig nem kezdeményezhet küldést a normális prioritás szerint, amíg az összes többi portra sor nem került.

A fentiekben vázolt algoritmus jól alkalmazható a HSLN hálózatok megvalósításánál. A több csomagváltást tartalmazó dialógus lehetősége a hosszú adatállományok gyors mozgatását is lehetővé teszi. A HSLN hálózatok tipikusan kevés számú portból állnak és ezért a ciklikus round-robin kiszolgálási séma még elfogadható szintű késleltetést eredményez csak.