

Az optikai hírközlés jelene és jövője

PROF. DIODATO GAGLIARDI

Instituto Superiore Poste e Telecomunicazioni

ITALY

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk rövid történeti áttekintés után részletezi a fényvezető szálak és kábelek jellemzőit, majd ismerteti a fényvezető összeköttetések alkalmazási területeit. Befejezésül áttekinti a fényvezető összeköttetésekre vonatkozó CCITT-ajánlásokat. A cikk prof. Diodato Gagliardini, az Instituto Superiore Poste e Telecomunicazioni igazgatójának, a CCITT XV. Tanulmányi Bizottsága elnökének a Posta Kísérleti Intézet Tudományos Napjain (1983. okt. 11–12) elhangzott előadása alapján készült. (□)

1. Bevezetés

Bár a fény távközlési célokra történő használatának gondolata meglehetősen régi, mégis csak századunk közepétől, a lézer feltalálásával nyílt lehetőség arra, hogy a fénysugarakat ténylegesen felhasználják információ közvetítésére. Az első kísérleteket koherens fény légköri átvitelével végezték, de a meteorológiai viszonyok (eső, köd, légörvénylelés) okozta nagy veszteségek miatt az eredmények nem voltak kielégítőek.

1966-ban bebizonyították, hogy a szennyeződések eltávolításával a fényvezetők csillapítása csökkenthető. Az ebben az irányban folytatott kutatások első jelentős eredménye az volt, hogy 1970-ben előállították az első kisveszteségű fényvezető szálakat (20 dB/km). Ezért 1970 tekinthető a távközlésre alkalmas fényvezető szálak születési évének. Ma már elmondható, hogy a fényvezető szálak messze túlléptek a kísérleti időszakon, és elősegítették olyan rendszerek létrehozását, amelyek képesek — még ipari vonatkozásban is — felvenni a versenyt a rivális távközlési eszközökkel.

2. Fényvezető összeköttetés elemei

2.1. Szálak és kábelek

A fény hullámvezetőben való terjedését a veszteség és a diszperzió jellemzi. Veszteségeket okozhat az abszorpció, az anyag tökéletlenségei következtében fellépő többszörös reflexió stb. A veszteség függ az alkalmazott fény hullámhosszától. Optikai átvitelre három tartomány használatos 0,085 μm , 1,3 μm és 1,5 μm környezetében; ezeket I., II., illetve III. ablaknak nevezzük. A jelenleg kereskedelmi forgalomban kapható legjobb fényvezető szálak vesztesége az I. ablakban kisebb, mint 3 dB/km. A veszteség a II. és III. ablakban kisebb; lehetségesnek tűnik a folytonos törésmutató-eloszlású (FTE, GRADED

INDEX) szálaknál a II. ablakban 1 dB/km-nél, a III. ablakban pedig 0,5 dB/km-nél kisebb értékek elérése. Az egymódusú szálak vesztesége mindhárom ablakban ennél kisebb: max. 2 dB/km, 0,5 dB/km, illetve 0,25 dB/km az egyes ablakokban.

A fényvezető szál sáv szélessége, amelyet a módusdiszperzió, anyagi diszperzió és hullámvezetési diszperzió korlátoz, függ az összeköttetés hosszától. Speciális, laboratóriumban előállított FTE szálakon 3 GHz·km sáv szélességig jutottak el az I. ablakban, és 6,5 GHz·km értékig a II. ablakban. A jelenleg gyártott FTE szálak sáv szélessége az első ablakban 500 és 1000 MHz·km között mozog. Az egymódusú szálaknál a II. és III. ablakban néhányszor 10 GHz·km nagyságrendű sáv szélességeket is elérhetőnek tartanak.

A *preform* gyártás technikája sokat fejlődött, ennek köszönhetően az anyagok tisztasága megjavult. Szinte teljes mértékben sikerült kiküszöbölni a molekuláris mozgásoktól származó csillapítás-csúcsokat; ez elsősorban az OH hidroxil-ionra vonatkozik, mert ennek harmonikus frekvenciája befolyásolja a távközlésben fontos spektrumzónákat. A gyártási eljárások során az alkalmazott oxidokat (SiO_2 , GeO_2 , T_2O_2 stb.) a legtöbb esetben folyadékokból és tiszta gázokból állítják elő; így a környezet által okozott szennyeződés meggátolható.

A *kábelgyártás* során a következő két kritériumot kell szem előtt tartani:

- a szál hajlításra és mikrogörbűletekre való érzékenysége, ami a veszteség növekedését okozza;
- a gyártás és kábelfektetés során a szálakra gyakorolt mechanikai igénybevétel, ami leronthatja az átviteli paramétereket.

Az alkalmazott kábelszerkezetek két kategóriába sorolhatók:

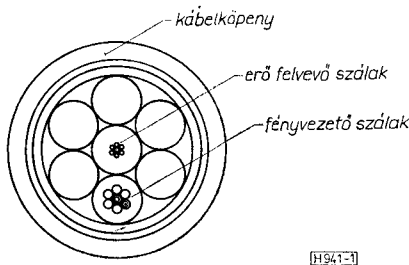
- centrikus sodratú szerkezetek,
- sávós (szalagszerű) szerkezetek.

A centrikus sodratú szerkezetekben a szálakat burkolattal látják el, csoportokban vagy rétegekben elrendezve. Az egyes szálaknak lehet külön burkolata, de több szál (általában 4 vagy 6) is lehet egy burkolatban. A sávós szerkezetekben a szálak egymással párhuzamos műanyag szalagokban helyezkednek el. Ezeket a szalagokat beágyazó anyagba helyezik, amelyet körbefonnak, hogy így a kábel ellenálljon a hajlításnak. A beágyazó anyagot tovább erősíti a megfelelő külső műanyag borítás.

Az 1. és 2. ábra a centrikus sodratú és a sávós szer-

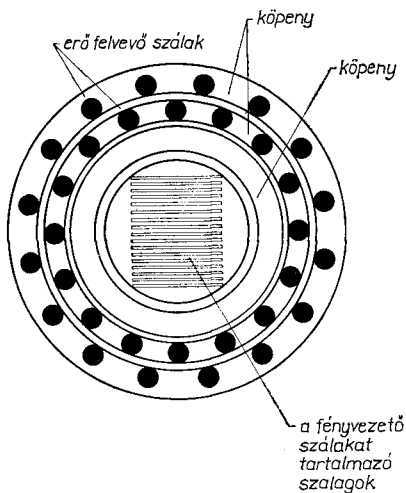
* A cikket közlésre előkészítette: Vámos Péter és Verebélyi Tibor

Beérkezett: 1984. I. 10.



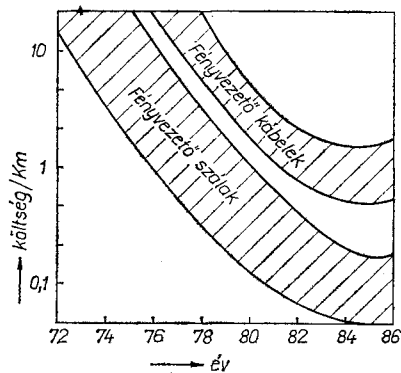
H941-1

1. ábra. Centrikus sodratú fényvezető kábel metszete



H941-2

2. ábra. Sávós szerkezetű fényvezető kábel metszete



H941-3

3. ábra. Költség/km változása az évek során

kezetű kábel szerkezetét mutatja. A két ábra további védelemet tüntet fel, amely a kábelt a fektetéskor fellépő húzásokkal szemben ellenállóvá teszi: a fémből vagy műanyagból egyaránt előállítható elem az 1. ábrán a kábel középpontjában, a 2. ábrán pedig a burkolaton kívül helyezkedik el. A 3. ábra a szál- és kábelköltségek változását mutatja az idő függvényében. Ennek alapján két következtetést vonhatunk le:

- majdnem a végére értünk annak az időszaknak, amikor a költségek évente azonos ütemben csökkennek,
- a fényvezető kábel ára lényegesen nagyobb, mint a benne levő összes fényvezető szál ára.

2.2. Fényforrások, detektorok

Az optikai hírközlés gyors fejlődése nem következett volna be, ha a fényforrások és az optikai detektorok nem fejlődtek volna a szálgyártáshoz hasonló ütemben. Az optikai hírközlés fejlődésének kezdeti szakaszában csak a LED szolgált fényforrásként; később a több tízezer óra élettartamú lézerdíódot is kifejlesztették. A detektorok területén szintén jelentős haladást értek el a legkisebb detektálható intenzitások tekintetében, ami a lavina-fotodiódnál a sötétáram csökkentését jelentette.

Az 1. táblázat megadja a ma hozzáférhető LED-ek és lézerek átlagos jellemzőit. A lézer jelentősen több fényenergiát sugároz ki, mint a LED, ezenkívül nagyobb sávzsélességgel és keskenyebb sugárzási spektrummal rendelkezik. Ilyen megfontolásból a lézer alkalmazását részesítik előnyben, különösen a nagy távolságú és nagy sávzsélességű átvitelnél. A 2. táblázat a PIN és APD detektorok átlagos jellemzőit tartalmazza.

1. táblázat

Fényforrások jellemző adatai

Fényforrás típusa	Hullámhossz	Sugárzási teljesítmény	Modulációs sávzsélesség	Optikai sávzsélesség
LED	I. ablak	50 μ W	50 MHz	40 nm
	II. ablak	50 μ W	100 MHz	100 nm
LÉZER	I. ablak	2 mW	500 MHz	4 nm
	II. ablak	2 mW	500 MHz	4 nm

2. táblázat

Detektorok jellemző adatai

Detektor típusa	Hullámhossz	Sokszorozás	Sávzsélesség
PIN	II. ablak	1	500 MHz
APD	I. ablak	100	500 MHz
	II. ablak	10	500 MHz

3. A fényvezető kábelek alkalmazása

Bár a fényvezetőszál egyaránt alkalmas analóg és digitális jel átvitelére, a vizsgálatok lényegében a digitális átvitelre koncentráltak két alapvető okból: egyrészt a fényforrások nem lineárisak, ami az analóg átvitel szempontjából kedvezőtlen, másrészt a távközlésben jelenleg uralkodó tendencia egyértelműen a digitális rendszerek felé halad. Csak az utóbbi néhány évben kezdődtek újra az analóg átvitelre irányuló kísérletek, tekintettel a helyi széles sávú hálózatokban való alkalmazási lehetőségekre, ahol bizonyos esetekben az analóg átvitel lehet kedvezőbb.

A fényvezető kábelek a nyilvános távközlési hálózatok minden területén felhasználhatók, nevezetesen:

- a helyközi hálózatokban,
- a többközpontos rendszerben átkérő hálózatként,
- helyi hálózatokban.

A választás az optikai átviteli rendszerek és a hagyományos átviteli eszközök között természetesen a költségek és a műszaki jellemzők közötti kompromisszum eredménye. Azonos bitsebesség, így azonos távbeszélő csatorna-kapacitás mellett a fényvezető rendszerek sokkal hosszabb erősítő szakaszokkal üzemeltethetők, mint a hagyományos kábelek. Ez nemcsak gazdasági szempontból, de főképp a megbízhatóság tekintetében rendkívül fontos.

3.1. Helyközi hálózatok

Gazdasági szempontból 30 Mbit/s sebesség fölött a fényvezető rendszerek már versenyképesek a hagyományos kábeles rendszerekkel. Jelenleg már üzemben vannak FTE-szálalás rendszerek 140 Mbit/s bitsebességgel az első és második ablakban. A nagyobb bitsebességű rendszerek fejlesztése (565 Mbit/s fölött) folyamatban van. Helyközi hálózatokban ma már gazdaságosan alkalmazhatók az 1300 μm -es hullámhosszra optimalizált FTE-szálak. Az ilyen szálakkal a 15 km-es ismétlőtávolság is megvalósítható, az egymódusú szálak ipari méretű alkalmazása pedig még nagyobb előnyökkel kecsegtet.

Napjainkban Olaszországban is megvalósítási szakaszába érkezett egy kísérleti egymódusú berendezés az Istituto Superiore Poste e Telecomunicazioni közreműködésével. Két szakasról van szó: az egyik kb. 6 km, a másik kb. 24 km hosszúságú. A kábelek 6, ill. 4 egymódusú szálal tartalmaznak. Ezzel az összeköttetéssel különböző gyártmányú kábelekkel fogjuk tanulmányozni a kábelfektetés problémáit, és meg fogjuk határozni az egymódusú szálak átviteli jellemzőit, különös tekintettel a szálban fellépő diszperzió jellemzésére. Azt is megvizsgáljuk majd, hogyan viselkednek ezek a szálak mint a heterodin detektorokat tartalmazó optikai rendszerek átviteli közgei.

Köztudomású, hogy folynak az Atlanti-óceánt átszelő, Észak-Amerikát Európával összekötő tenger alatti kábel tervezési munkálatai. Olaszország részt vesz ebben a nemzetközi munkában, továbbá a Földközi-tenger alatti összeköttetések megvalósításában is. Az első kb. 100 km-es összeköttetés üzembe helyezése a jövő évben várható.

A nagy ismétlő-távolságok, valamint a fémentes kábelek alkalmazása új megoldásokat kívánt a regenerátorok áramellátásában, a távfelügyeleti rendszerben és a szolgálati összeköttetésben. Az olasz irányvonal ebben a tekintetben az ismétlőállomás helyi táplálása, továbbá a felügyelet és a szolgálati összeköttetés jelzéseinek a fő jelfolyammal azonos csatornán történő átvitele.

3.2. Városok átkérő hálózata

A fényvezető kábelek alkalmazása ezen a területen különösen előnyös a közbenső erősítők elmaradása folytán, ami kisebb költséget és nagyobb megbízhatóságot eredményez. A szakaszok hossz-eloszlásának vizsgálata a különböző országokban azt eredményezte, hogy a szakaszoknak legalább 60%-a közben-

ső erősítő nélkül üzemeltethető. Gazdaságossági szempontból a harmadrendű, vagy ennél magasabb rendű PCM-rendszerek esetében (vagyis 34 Mbit/s fölött) egyértelműen a fényvezető kábel előnyösebb; kisebb bitsebességek esetén a szimmetrikus rézkábelek gazdaságossági szempontból egyelőre kedvezőbbek. Azonban még itt is számos érv szólhat a fényvezető kábelek mellett:

- kisebb méret és súly, ami lehetővé teszi a jelenlegi infrastruktúra jobb kihasználását,
- nagy gyártási hosszak (1–2 km), ami jelentősen gyorsítja a kiépítést,
- a közbenső erősítők elmaradása.

E területen szintén a második ablakra optimalizált fényvezetők alkalmasak, ami a közbenső regenerátorok teljes elmaradásához vezethet. Sok országban már üzemben vannak fényvezető kábelek a városokon belüli átkérő hálózatokban.

3.3. Előfizetői hálózatok

Az előfizetői hálózatot eddig kevésbé érintette a távközlésben végbement technikai fejlődés. Ez teljesen érthető a helyi hálózatok nagyobb beruházási értéke folytán, mégis célszerű a változtatást sürgető érveket megfontolni. Eddig radikális változtatások iránt nem mutatkozott igény, mivel a kis átmérőjű szimmetrikus érpárú kábelek kielégítették a szolgáltatási követelményeket. A helyzet azonban változik, mivel az ISDN megvalósításához elő kell készíteni az előfizetői vonalak digitalizálását. A jelenlegi vizsgálatok szerint az előfizetői vonalakhoz szükséges bitsebesség 80 kbit/s, 144 kbit/s, vagy ennél is nagyobb. A jelenleg alkalmazott szimmetrikus réz érpárok 80, esetleg 144 kbit/s átvitelére képesek, de többre nem.

Megjegyzendő, hogy sok országban már kísérleti üzemben vannak fényvezetőt alkalmazó széles sávú helyi hálózatok. A célkitűzés az, hogy a felhasználót különböző szolgáltatásokhoz juttassák. Az Istituto Superiore P. T. által végzett trend-vizsgálat megállapította az olasz igényeket kielégítő szolgáltatásokat (3. táblázat). A táblázat nem tünteti fel az egyes szolgáltatásokhoz szükséges csatornák számát. Az „alapvető konfiguráció” előre láthatóan

- 2 tv-csatorna (az egyik javított képfelbontóképességgel),
- 2 jó minőségű sztereó hangfrekvenciás csatorna,
- 144 kbit/s-os csatorna az ISDN-hez,
- 2048 kbit/s-os csatorna képátvitelhez.

Kezdetben a tv-csatornákat analóg formában vinnék át, az összes többi szolgáltatás pedig digitális formában valósulna meg. Nyilvánvaló, hogy e célkitűzések megvalósításához új átviteli közegek alkalmazása szükséges, és a végső döntés várhatóan a fényvezető mellett szól majd.

További speciális probléma a különböző forrásból származó jelek multiplexelése. Lehetséges a különböző jelek elektromos multiplex üzem, vagy a hullámhossz-multiplex üzem, melyben minden jelhez meghatározott hullámhossz tartozik. Az utóbbi, a WDM-nek nevezett rendszer (wavelength division

Olaszországban igényelt szolgáltatások adatai

Szolgáltatás típusa	Sávszélesség-igény (analóg átvitel)	Bitsebesség-igény (digitális átvitel)
Normál tv	5 MHz (kép) + 15 KHz (hang)	100 Mbit/s*
Javított kép- felbontású tv	9 MHz (kép) + 3 Mbit/s (hang)	216 Mbit/s*
Sztereó hangátvitel	—	2 × 480 Kbit/s
Telefon	—	64 Kbit/s
Nagysebességű adatcsatorna	—	64 Kbit/s
Videotext, fakszimile	—	2048 Kbit/s

* További redundancia-csökkentő eljárás nélkül

multiplex) egy sor, még nem teljesen meghatározott alkatrészt igényel. E rendszer a jövőben érdekes megoldást jelenthet szemben azokkal, amelyek a felhasználó otthonába több (kettő vagy négy) szál bevezetését teszik szükségessé. A kérdés jelenleg nyitott, és további vizsgálatokat igényel.

4. Perspektivikus kilátások

A fényvezető szál és komponensei területén nagyarányú fejlődés ment végbe. A fényvezető szálak csillapításának további csökkentése érdekében — elsősorban az 1,3 μm -nél nagyobb hullámhosszak esetében — a kutatás homlokterébe új anyagok és technológiák vizsgálata került. Folynak kutatások a kb. 10 μm hullámhosszúságú átvitel megvalósítására (monokristályos és polikristályos szálakkal). A távközlési alkalmazás következő állomását előre láthatólag a 4–5 μm hullámhosszúságú átvitel jelenti. Sokat ígérő anyagcsoportokat találtak közép-infravörös tartományban való alkalmazásra. A fluorid üvegfajták kristályos és üveg anyagainak jellemzői alapján a csillapítás nem fogja meghaladni 0,01 dB/km értéket. A fényelektromos alkatrészek területén a kutatások a nagyobb hullámhosszhoz megfelelő források és detektorok létrehozására irányulnak. Jól ismert eljárás As Ga Al előállítására a folyadék-fázisból történő epitaxiális növesztés, de a nagyobb hullámhosszak esetén a legjobb eredmények molekuláris nyaláb-epitaxiával születnek. Ma már létezik 1,3 μm hullámhosszúságú lézer, amely majdnem egymódusú, és jó stabilitást mutat.

5. A CCITT szerepe

A fényvezető kábelek tanulmányozása a CCITT 1973–1976 időszakában kezdődött, amikor a figyelem elsősorban a különböző országokban folyó kutatások általános áttekintésére, valamint a problémák számba vételére irányult. A következő tanulmányi periódusban (1977–1980) két kérdést készítettek elő: az első (38/XV), amelyet a XV. tanulmányi csoport feladatául tűztek ki, a fényvezető kábelek jellemzőit érintette, a második (13/XVIII), amelyet a XVIII. tanulmányi csoportnak osztottak ki, a fényvezető kábeles digitális vonalszakaszok jellemzőire vonatkozik.

E tanulmányi időszak legfőbb eredménye a G. 651 ajánlás volt (FTE szálak jellemzői), ezt a rákövetkező VII. plenáris ülés jóváhagyta (lásd a Sárga könyv III. kötetét). Ezen időszak kutatásai egy paraméterlistát eredményeztek, ezek meghatározására a vonatkozó ajánlásokban kerül sor. Megszületett egy olyan elv, mely szerint a fénytávközlő rendszereknek összhangban kell lenniük az azonos PCM hierarchiaszinten működő digitális átviteli rendszerek jellemzőivel (G. 911 és G. 918 ajánlások).

A VII. Plenáris ülés által hozott döntés a teljes fényvezető-kutatást (átviteli eszközök és távközlő rendszerek) kizárólag a XV. tanulmányi csoport feladatkörébe utalta. A vizsgálatok köre 5 kérdéssel bővült:

- 13/XV — A fényvezető kábelek jellemzői
- 14/XV — A fényvezető kábelek jellemzőinek mérési módszerei
- 15/XV — Az optikai távközlés információinak összegyűjtése és korszerűsítése
- 17/XV — A fényvezető digitális átviteli rendszerek jellemzői
- 31/XV — Tenger alatti kábelek (ennek b pontja: fényvezető kábelek).

A VII. plenáris ülés ugyanakkor a VI. tanulmányi csoport számára tűzte ki a fényvezető kábelek bizonyos jellemzőinek vizsgálatát, különös tekintettel a kötések és védőborítások mechanikai tulajdonságaira. Ezzel koordinációs problémák léptek fel, elsősorban a XV. és XVIII. tanulmányi csoport között, valamint a két tanulmányi csoport és az ugyancsak a fényvezető szál specifikálásával foglalkozó IEC között.

A következő időszakban a CCITT tanulmányi munka a G.651 ajánlás bővítésére irányul, kiterjesztve az ajánlást az egymódusú szálakra is. Az 1984 őszi plenáris ülésen olyan megállapodás várható, amelynek döntő kihatása lesz a fényvezetők nagy távolságokon való alkalmazására.