

Távközlő hurokhálózatok számítógépes tervezése

KOLLÁTH GÁBOR
Posta Kísérleti Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk röviden jellemzi az előfizetői hálózatokban használható felfűzéses és különböző hurokhálózati struktúrákat, ismerteti egy döntés-előkészítő módszert, mely segítségével becsülni lehet, hogy adott körülmények között a hurok struktúra versenyképes-e a csillaghálózattal. Ezek után a cikk ismerteti a LAMPYON tervező eljárást, mely segítségével meghatározható, hogy egy tápterület kiszolgálásához csillag, felfűzéses, szimpla-hurkos és dupla-hurkos hálózati részek milyen optimális kombinációját kell kialakítani.

Bevezetés

Az előfizetői távbeszélő hálózatok jelenleg tipikusan csillagrendszerben épülnek fel. Ez vonatkozik mind a központ és a koncentrátorok közötti hálózatra, mind a koncentrátorok és az előfizetők közötti hálózati részre. Ez a kép az új kapcsolástechnikai eszközök elterjedésével várhatóan változni fog. A kapcsolóberendezések új generációja jött ugyanis létre, melyek időosztásos kapcsoláson, tárolt program vezérlésen és közös csatornázás jelzésrendszeren alapulva lehetővé teszik hurokhálózatok és felfűzéses hálózatok kialakítását is. Az ilyen hálózatokban, intelligens koncentrátorok helyezkednek el egy nagy kapacitású kör, illetve vonal mentén. Alkalmazásukkal lehetőség nyílik arra, hogy a központ és a koncentrátorok közötti hálózat gazdaságosabbá és biztonságosabbá váljék. E hálózat-rész költségének súlya közismerten jetntős, így minimális költségű kialakítása elsőrendű gazdasági szempont.

1. A vizsgált hálózati megoldások

A cikk a hurok és felfűzéses struktúrákat helyezi a vizsgálat fókuszába. Ezen struktúrák fő jellemzői:

Felfűzéses hálózat: A koncentrátorok az 1. ábra szerint egy időosztásos átviteli rendszerre kapcsolódnak rá [1]. Mindegyik koncentrátor bármelyik idő-részhez hozzáférhet. Ez biztosítja, hogy az áramkörök kihasználtsága az áramkörök számával növekszik. A felfűzéses rendszer használhatósága a soros elrendezés miatt kedvezőtlen, nagyon érzékeny a hálózati szakaszok kiesésére.

Hurokhálózatok: A hurokhálózati rendszerek a 2. ábrán látható csoportokba oszthatók [2]. A szimpla-hurok a legegyszerűbb hurokstruktúra, melyben a koncentrátorok közötti információfolyam egyirányú. (L: 3. ábra) Az elrendezés előnye, hogy csak egyirányú átviteli rendszer kiépítése szükséges, és működtetése

Beérkezett: 1986. 1. 2. (□)

KOLLÁTH GÁBOR

Oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karának Híradástechnika szakán szerezte, 1980-ban. Azóta a Posta Kísérleti Intézet Rendszertechnikai Osztályán dolgozik, mint tudományos munkatárs.

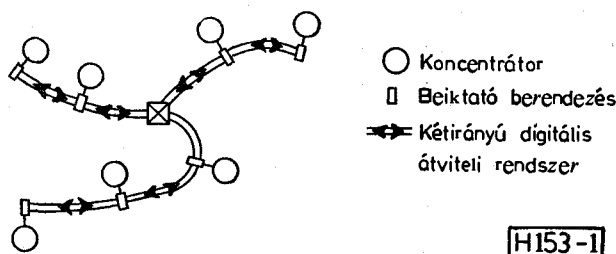
Távközlőhálózatok tervezésével, azon belül elsősorban a hálózat fizikai terve-

zésével és hálózatvezérlési módszerek kidolgozásával foglalkozik.

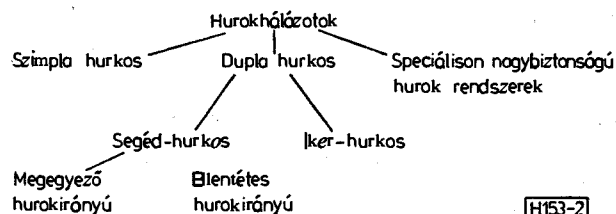
Eredményeiről a 11. és 13. Magyar Operációkutatási Konferencián 1982-ben az 5. RELECTRONIC szimpózium és a 13. drezdai távközlési tudományos napokon tartott előadást. Jelenleg egyetemi doktori disszertációját védésén dolgozik.

egyszerű forgalmi renddel (protokollal) valósítható meg [3]. A szimpla-hurok kedvezőtlen tulajdonsága a rossz zavartűrő képesség. Ha a hurok bárhol megszakad, akkor a hurokban szereplő összes koncentrátor el van szakítva egymástól, s a külvilágtól.

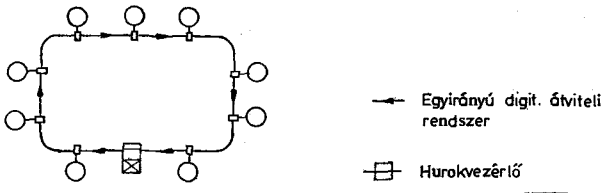
A dupla-hurkos megoldások a szimpla-hurkos hálózat sérülékenységét kívánják kivédeni. Alkalmazásukkal jelentősen több koncentrátort lehet egy hurokkal kiszolgálni azonos használhatóság mellett [4]. A segéd-hurkos megoldásnál üzemi állapotban csak a fő hurkon történik információátvitel s a segéd hurokra — mint tartalékra — csak hiba esetén kapcsolnak át [5]. Az átkapcsolás az ún. rekonfigurátorok segítségével végezhető el. A fő és segéd hurokban az információ iránya lehet megegyező és ellentétes, mely eltérő rendszertulajdonságot eredményez. Az utóbbi megoldásra látható példa a 4. ábrán.



1. ábra. Felfűzéses hálózat

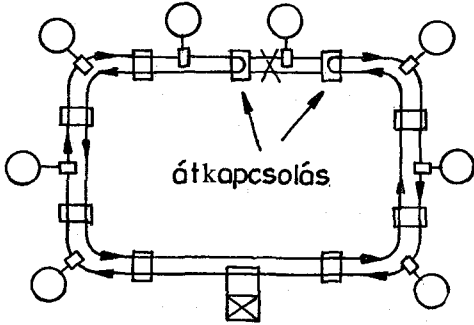


2. ábra. Hurokhálózati megoldások osztályozása



H153-3

3. ábra. Szimpla hurok



H153-4

4. ábra. Visszaforgatásos segéd-hurkos hálózat

Az iker-hurkos hálózatnál mindkét hurkot használják. Ekkor az X és Y pont közötti párbeszédhez szükséges két csatornát a két különböző hurkon építik fel [7]. Ezzel a módszerrel egyazon időrést használva két áramkör hozható létre két pont között (L. 5. ábra). Látható, hogy áramkörök fizikailag elkülönült úton jönnek létre, így hiba esetén a forgalomirányítási szabályok megváltoztatásával a hálózat két felfűzéses jellegű hálózattá alakul át, melyen a forgalom — esetleg nagyobb torlódással — de lebonyolítható. Így a hálózat védett a hálózati kiesésekkel szemben.

A „speciálisan nagy biztonságú hurokrendszerek” csoport főként a nem polgári hálózatokban használt megoldásokat fogja össze, melyekben a nagy megbízhatóság az elsődleges szempont.

2. Hipotetikus modell csillag és hurokhálózat költségének összehasonlítására

A kidolgozott döntéselőkészítő modell hipotetikus tápterület-elrendezésen alapul [8], melyben egy négyzet alakú tápterületen az előfizetők egyenletesen helyezkednek el. A központ a négyzet közepén található.

Feladat bekötni ezeket az előfizetőket a tápterület középpontjában elhelyezett központba, koncentrátorok keresztül. Azonos földrajzi elhelyezkedés mellett, pontos költségfüggvényeket alkalmazva, a különböző struktúrájú hálózatok összköltsége következetesen összevethető. Két fontos struktúra összevetésén keresztül mutatjuk be a modell alkalmazását.

A két elrendezés jellemzője: (L. 6. ábra)

a) az előfizetők a koncentrátorokba és a koncentrátorok a központba csillagszerűen vannak bekötve;

b) az előfizetők a koncentrátorokba csillagszerűen, a koncentrátorok a központba visszahurkolásos segéd-hurkos hálózaton keresztül vannak bekötve.

Feltételezve, hogy az a) megoldás esetén a koncentrátorok bekötése primer PCM-rendszereken történik

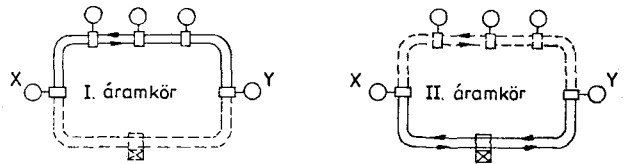
b) esetben pedig tercier szintű fényvezetős PCM-rendszeren, a hálózatok átviteli költsége felírható. A költségfüggvények mind az előfizetői hálózati rész, mind a központ és koncentrátorok közötti hálózati rész költségét figyelembe veszik:

$$C_{csillag} = C_{cs.trönk} + C_{előfiz.}$$

$$C_{hurok} = C_{h.trönk} + C_{előfiz.}$$

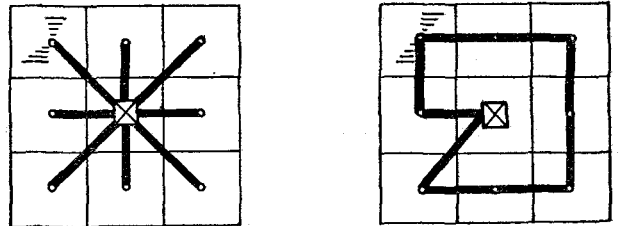
A modellben alkalmazott részletes költségfüggvények a Függelék 1-ben találhatóak.

A primer PCM-rendszer esetén a szükséges költségparaméterek kellő pontossággal rendelkezésre állnak [9]. A tercier fényvezetős rendszerek költségei csak külföldi ajánlatok alapján becsülhetők. A szükséges paramétereket a legkedvezőbb ajánlatból vettük. A csillag és a hurokhálózat költségének alakulására látható példa a 7, 8 és 9. ábrán, az alkalmazott M koncentrátor méret függvényében.



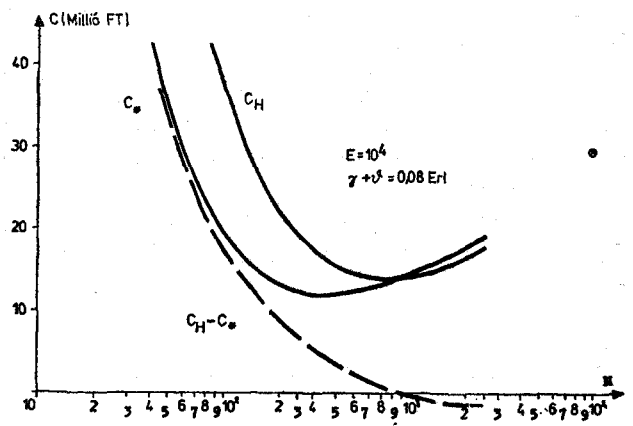
H153-5

5. ábra. Áramkörök kijelölése iker-hurkos hálózatnál



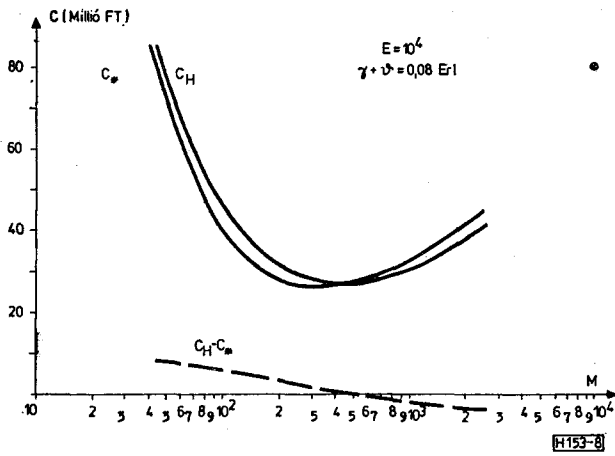
H153-6

6. ábra. Vizsgált hálózati struktúrák

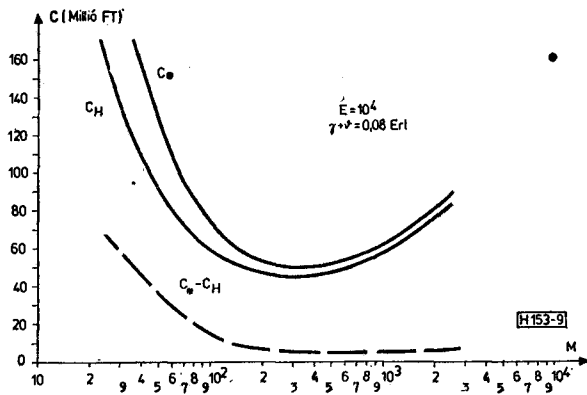


H153-7

7. ábra. Költségfüggvények L=2 km esetén



8. ábra. Költségfüggvények $L=5$ km esetén



9. ábra. Költségfüggvények $L=10$ km esetén

A vizsgálat eredményei a következő pontokban foglalkozhatók össze:

- Megállapítható, hogy nagy kapacitású berendezések hurokban való alkalmazásának elsődleges feltétele az olcsó átviteltechnikai végberendezés.
- Rendszerválasztásnál a tápterület — döntést befolyásoló — mértékadó jellemzője az ún. vetületi sűrűség, ami az előfizetős szám és a négyzet alakú tápterület élhosszáinak hányadosát jelenti. ($q = E/L$)

A jogos elhanyagolások után a következő döntési szabály fogalmazható meg: visszaforgatásos duplahurkos hálózat alkalmazása mellett kell dönteni, ha ahol:

$$\frac{a + b \cdot M_v}{q} \cong C_{\text{MUXF}}$$

- M_v az alkalmazni kívánt koncentrátor kapacitása
- a, b az alkalmazott átviteli rendszerekből és földrajzi elhelyezkedésből adódó konstansok
- q a vetületi sűrűség
- C_{MUXF} a hurokban alkalmazott átviteltechnikai végberendezés költsége

A 10. ábrán a fenti összefüggés van ábrázolva különböző M_v értékek esetén. A görbék segítségével fényvezetős rendszerek ajánlati paramétereinek (ill. az eset-

leges hazai gyártás esetén ezen berendezések költségadatainak) ismeretében becsülni lehet, hogy dupla hurok alternatíva szóba jöhet-e, mint lehetséges megoldás a csillagstruktúra helyett.

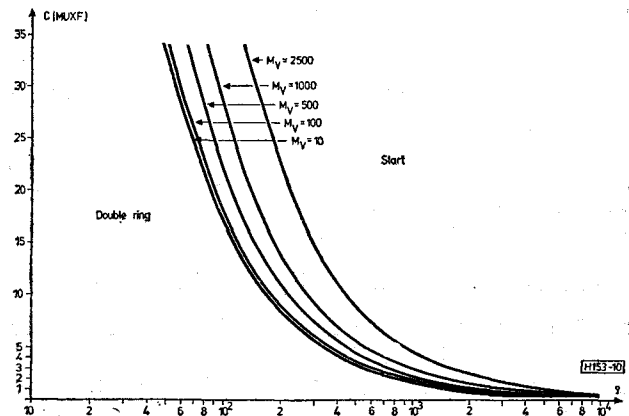
3. A LAMPYON számítógépi tervező eljárás

3.1. Megfontolások

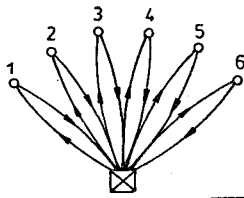
Hurok és felfűzéses hálózatok kialakításához a berendezések részben ki vannak fejlesztve, részben fejlesztés alatt állnak. Döntő kérdés azonban, hogy ilyen hálózati struktúrában kiszolgálva az előfizetőket csökken-e a hálózat költsége.

Ezért alkalmazásukat alapvetően gazdaságossági szempontok fogják meghatározni. Szükséges olyan eljárás kidolgozása, amely ennek a kérdésnek az eldöntésében segíti a tervezőt. Az egyes hálózati struktúrák párhuzamosan élhetnek egymás mellett, kihasználva azt az előnyt, amit a különböző (pl. földrajzi) adottságokhoz illeszkedő hálózati megoldások optimális kombinációja nyújthat. A lehetséges hálózat-kialakítási lehetőségek szaporodásával a manuális tervezési munka rendkívül bonyolultá, áttekinthetlenné válik. A tervezőnek döntenie kell, hogy az egyes koncentrátorok csillag-, felfűzéses, vagy valamilyen hurokhálózaton keresztül legyenek bekötve a központba. Dönteni kell arról is, hogy a koncentrátorokat kiszolgálás szempontjából hogyan lehet közös csoportba vonni. Meg kell határozni, hogy a különböző hálózatstruktúrában mennyi koncentrátort lehet adott használhatósági szint mellett kiszolgálni. Ezeket az elemszámkorlátokat, a kapacitáskorlátokat, valamint a hálózatra előírt megbízhatósági előírásokat a tervezés folyamán figyelembe kell venni, miközben a hálózati költségek minimalizálására kell törekedni.

Belátható, hogy a feladatot csak az optimálist megközelítő módon lehet megoldani. Az optimális megoldást ugyanis nem lehet reális futásidő alatt meghatározni, még „branch-and-bound” módszer segítségével sem. Ezért heurisztikus eljárásokat javasolnak ilyen feladatok megoldására, melyek sokkal gyorsabbak és néhány % eltéréssel meg is közelítik az optimális megoldást. A vázolt problémát ezért mi is heurisztikus eljárással valósítottuk meg.



10. ábra. Döntési görbék, C_{MUXF} , M_v függvényében



H153-11

11. ábra. Clark — Wright eljárás kiinduló állapota

3.2. Optimalizálási kritérium

A tervező eljárásnak alkalmasnak kell lennie csillag és nemcsillag rendszerű hálózati megoldások együttes tervezésére. Az optimalizált hálózat költsége legyen minimális, átlagos kiesési időaránya maradjon egy adott korlát alatt. Szükséges, hogy a szimpla hurokról dupla hurokra áttéréssel járó ugrásszerű használhatóság javulását értékelhető legyen a költségfüggvényben.

Mіндеzeket a követelményeket magába foglaló optimalizálási kritérium a következő:

$$(1 - \lambda) \cdot \sum_{i=1}^k C_i + \lambda \cdot f_c \left[\sum_{i=1}^k DTR_i(m_i) \right] = \min$$

$$\text{és } \forall_i DTR_i(m_i) \leq DTR_H$$

- C_i az i -edik hurok költsége
- λ kiesési időarányt súlyozó tervezői paraméter
- $f_c[DTR]$ kiesési időarány költségé transzformáló függvény
- $DTR_i(m_i)$ m_i koncentrátort tartalmazó i -edik hurok kiesési időaránya
- DTR_H a hálózati részre előírt kiesési időarány követelmény

A fenti kritérium alkalmazásával a hálózat költsége és kiesési időaránya együttesen csökkenthető.

3.3. Clark-Wright algoritmus alkalmazása távközlő hálózatok tervezésénél

A különböző hálózati megoldások kombinált tervezésében új részfeladatként jelentkezik az adott számú koncentrátort optimálisan magába foglaló hurok megtalálása. A feladat hasonlóságot mutat az ún. gépjármű irányítási problémával, ahol a feladat: bizonyos számú — adott szállítási igényű — pont optimális bejárású útvonalának meghatározása adott telephelyről kiindulva, adott rakfelületű gépkocsik számára. Ez utóbbi feladatra több eljárást is publikáltak. Tervezési feladatunkhoz a legjobban illeszkedő algoritmust kellett megtalálnunk. Számos algoritmust megvizsgálva megállapítható, hogy távközlő hurokhálózatok tervezésénél — mint alapeljárás — a Clark-Wright algoritmus alkalmazása a legcélszerűbb [10].

A Clark-Wright algoritmus lépései a következők:

- S1. Jelölj ki egy pontot központi állomásnak, melynek azonosítója legyen 1.
- S2. Számítsd ki az s_{ij} nyereség értéket minden i, j pont-párra ($i, j \neq 1$) $s_{ij} = d_{1i} + d_{1j} - d_{ij}$ (d értéke lehet távolság, költség, stb.)

- S3. Csökkenő s_{ij} értékek szerint sorrendezd a pont-párokat.
- S4. Az s_{ij} listán felülről lefelé haladva hozz létre egyre nagyobb részhurkokat a megfelelő i, j csomópont összekötésével.
- S5. Lépj vissza S1-re amíg minden pontot központi állomásként ki nem próbáltál.

A Clark-Wright heurisztika előnye, hogy kiindulásként olyan hálózatból indul ki, melyben minden pont csillagszerűen van bekötve a központi állomásba. (11. ábra) Hurokképzés csak ott jön létre, ahol az gazdaságos pl. 5—6, majd 2—3 (12. ábra) összevonásával. Ily módon a végeredményként előálló hálózat olcsóbb, mint a kiinduló csillaghálózat. Az eljárás figyelembe tudja venni az egy hurokba szervezhető koncentrátorok számára a használhatósági előírásokból ill. az átviteli rendszer kapacitásából adódó korlátot.

Amennyiben az algoritmust dupla-hurkos hálózatok tervezésére is ki akarjuk terjeszteni, szükséges az S2. lépésben használt nyereségfüggvényt módosítani a 3.2. pont optimalizálási kritérium alapján. Öt különböző esetet kell megkülönböztetni aszerint, hogy szimpla hurkot csillag ággal, másik szimpla hurokkal vagy dupla hurokkal, illetve dupla hurkot csillag ággal vagy másik dupla hurokkal kívánunk egyesíteni. A lehetséges „kombinált nyereség függvények” részletesen a Függelék 2-ben láthatók.

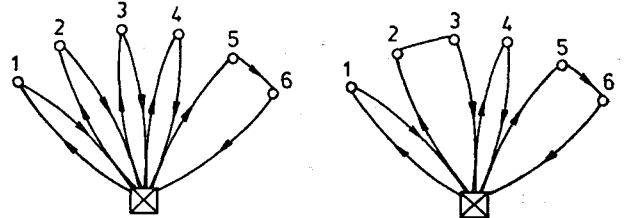
3.5. A LAMPYON eljárás lépései

A tápterület kiszolgálásához szükséges csillag, felfűzéses, szimpla-hurkos és dupla-hurkos hálózati részek optimális kombinációját meghatározó számítógépi algoritmus egyszerűsített blokkdiagramja a 13. ábrán látható. Az eljárás három fő fázisa a következő.

1. fázis: A Clark-Wright eljárás kapacitáskorlátjának a rendelkezésre álló legnagyobb kapacitású átviteli eszköz kapacitását választva az algoritmus csillaghálózatból kiindulva szimpla-hurokba szervezi azokat a koncentrátorokat, melyeket gazdaságos összevonni. Az összevonások addig végezhetők, amíg

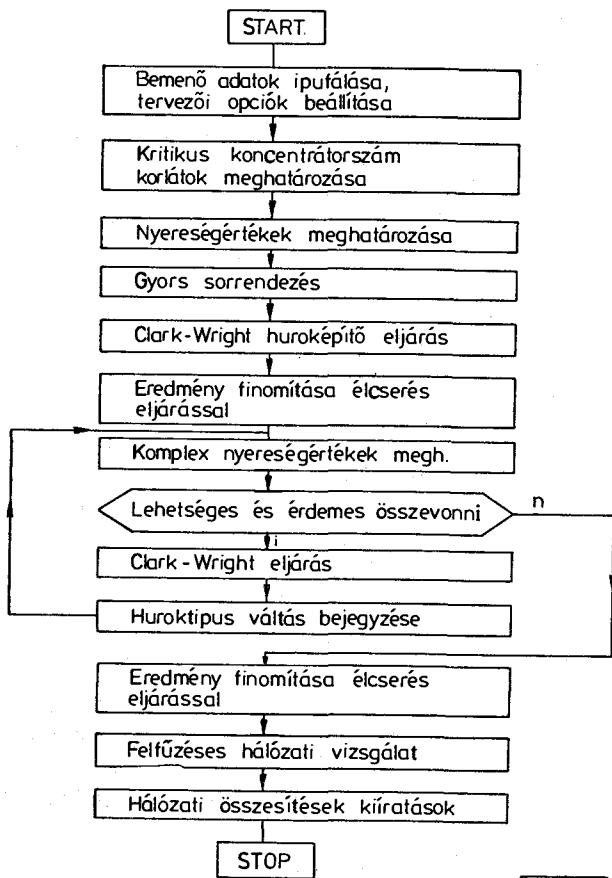
- a) az összevonás gazdaságos
- b) a koncentrátorokat összekötő átviteli eszköz kapacitása ki nem merül
- c) a használhatósági előírásból adódó koncentrátor-számot el nem érjük.

A b) esetben az adott hurok tovább semmiképp sem bővíthető, tehát ez a szimpla hurok része lesz a végeredménynek. A többi esetben a hurokba elvileg további koncentrátorok is szervezhetők.



H153-12

12. ábra. Összevonások hatása a hálózatra



H153-13

13. ábra. A LAMPYON tervező algoritmus blokkdiagramja

2. fázis: További koncentrátorok csak úgy vonhatók be, ha valamilyen dupla-hurkos megoldást alkalmazunk, mivel ezek használhatósági szintje jelentősen magasabb. Annak eldöntése, hogy ez ezzel járó többletköltség mely esetben kifizetődő a hálózat szempontjából, a kombinált nyereségfüggvények kiértékelésével lehetséges. Ahol ez a nyereségérték pozitív, ott az eljárás további bevonásokat végez, dupla-hurkossá téve az adott hálózati részt. E fázis után a hálózat szimpla és dupla hurkokból és csillag ágakból állhat.

3. fázis: Az eljárás megvizsgálja, hogy felfűzéses hálózatba szervezve a csillag ágak és szimpla hurkok koncentrátorait nem alakítható-e ki olcsóbb megoldás.

3.6. Eredmények

Az eljárás segítségével 486 tervezést végeztünk el, mely alapján számos gyakorlati következtetést lehetett levonni a csillag és nemcsillag rendszerű hálózatok alkalmazhatósági feltételeiről [11]. Ezek közül a legfontosabbak a következők:

- A csillagstruktúra a jövőben is eleme marad az előfizetői hálózatnak: elsősorban városi területen gazdaságos, a nagy előfizető sűrűség, valamint a viszonylag alacsony végponti költségek miatt. Ezenkívül göckörzeti területeken is lehetséges, hogy egyes koncentrátorokat közvetlenül a leggazdaságosabb bekötni.
- A szimpla-hurkos hálózat alkalmazása előfizetői hálózatokban nem bizonyul gazdaságosnak a fel-

fűzéses hálózattal szemben, így a tervezhető hálózati struktúrák listájáról törölni célszerű.

— A felfűzéses és segéd-hurkos hálózatok alkalmazásának optimális környezete a göckörzeti hálózat.

Függelék 1

A kétszintű csillaghálózat átviteli költsége

$$C_{CS} = \left[N_0 + \tau_0 \cdot \frac{E}{m} \cdot (\gamma + \vartheta) \right] \cdot C_R \cdot L_{CSTR} + 4 \frac{C_T}{30} \cdot L_{CSTR} + C_{MUX} \cdot m + C_{AL} \cdot L_{CSTR} + \frac{L \cdot E}{2\sqrt{m}} \cdot C_{04},$$

ahol

$$L_{CSTR} \cong m \cdot L \cdot \frac{\sqrt{2} + \ln(\sqrt{2} + 1)}{6}$$

A visszaforgatásos segéd-hurkos hálózat átviteli költség:

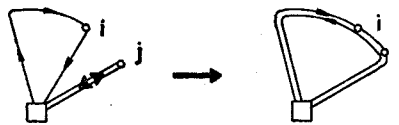
$$C_H = \left[\frac{N_0 + \tau_0 \cdot \frac{E}{m} \cdot \frac{\gamma + \vartheta}{2}}{2} \right] \cdot (m \cdot C_{MUXF} + 2 \cdot \frac{C_{TF}}{480} \cdot L_{HTR} + C_{ALF} \cdot L_{HTR} + \frac{L \cdot E}{2\sqrt{m}} \cdot C_{04},$$

ahol

$$L_{HTR} = \begin{cases} L \cdot \sqrt{m} & \text{ha } m \text{ páros} \\ \frac{L}{\sqrt{m}} [m + \sqrt{2} - 1] & \text{ha } m \text{ páratlan} \end{cases}$$

Az alkalmazott jelölések a következők:

- L : A vizsgált teljes négyzet alakú tápterület élhossza km-ben,
- m : A koncentrátorok száma,
- E : Az összes előfizetők száma
- L_{CSTR} : A csillaghálózat trunkjeinek összhossza légvonalon távolságban és km-ben mérve
- L_{HTR} : A hurokhálózat trunkjeinek hossza km-ben,
- C_{04} : Az előfizetői hálózatban általánosan használt kábel km-enkénti érpárköltsége ezer Ft-ban



$$S^* = (1 - \lambda) \cdot [C_{ii} + \alpha_0 C_{ij} - C_{ij} - \alpha (G_i - C_{ii} + C_{ij} + C_{jj})] + \lambda \cdot f_c [m_j \cdot DTR_S(m_j) + DTR_{CS} - (m_j + 1) \cdot DTR_D(m_j + 1)]$$

H153-14

14. ábra. Szimpla hurok és csillag egyesítése dupla hurokká



$$S^* = (1 - \lambda) \cdot [S - \alpha (G_i + G_j - S)] + f_c [m_i \cdot DTR_S(m_i) + m_j \cdot DTR_S(m_j) - (m_i + m_j) \cdot DTR_D(m_i + m_j)]$$

H153-15

15. ábra. Két szimpla hurok egyesítése duplává

Függelék 2

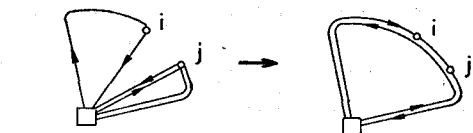
Felhasználva az

$$S = C_u + C_{ij} - C_{ij}$$

jelölést, a kombinált nyereségfüggvények lehetséges esetei a következők: 14—18. ábra.

Az alkalmazott jelölések:

- λ : kiesési időarányt súlyozó tervezői paraméter
 C_u : az i -edik koncentrátor és a központ közötti átviteli szakasz költsége, szimpla hurok esetén eFt-ban,
 C_{ij} : az i és j koncentrátor közötti átviteli szakasz költsége szimpla hurok esetén eFt-ban,
 G_i : az i -edik koncentrátort tartalmazó hurok költsége eFt-ban
 m_i : az i -edik koncentrátort tartalmazó hurokban lévő koncentrátorok száma
 $DTR_s(m)$: szimpla hurok kiesési időaránya az m koncentrátorszám függvényében
 $DTR_D(m)$: dupla hurok kiesési időaránya az m koncentrátorszám függvényében
 DTR_{CS} : egy csillag ág kiesési időaránya
 $f_c[DTR]$: a használhatósági értéket költséggé transzformáló függvény
 α : dupla és szimpla hurok szakasz költségének arányában szereplő paraméter: $C_D = (1 + \alpha) C_{sz}$
 α_0 : csillag ág és szimpla hurok szakasz költségének arányában szereplő paraméter: $C_{cs} = (1 + \alpha_0) C_{sz}$



$$S^* = (1 - \lambda) \cdot [S - \alpha(G_i - S)] +$$

$$\lambda \cdot f_c [m_i \cdot DTR_s(m_i) + m_j \cdot DTR_D(m_j) - (m_i + m_j) \cdot DTR(m_i + m_j)]$$

H153-16

16. ábra. Szimpla hurok és dupla hurok egyesítése duplává

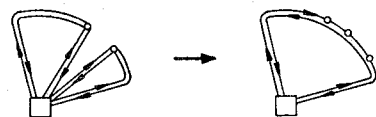


$$S = (1 - \lambda) \cdot [(1 + \alpha) \cdot (C_{ii} - C_{ij}) + (\alpha_0 - \alpha) \cdot C_{ij}] +$$

$$\lambda \cdot f_c [m_i \cdot DTR_D(m_i) + DTR_{CS} - (m_i + 1) \cdot DTR_D(m_i + 1)]$$

H153-17

17. ábra. Dupla hurok és csillag egyesítése dupla hurokká



$$S^* = (1 - \lambda) \cdot [(1 + \alpha) \cdot S] +$$

$$\lambda \cdot f_c [m_i \cdot DTR_D(m_i) + m_j \cdot DTR_D(m_j) - (m_i + m_j) \cdot DTR_D(m_i + m_j)]$$

H153-18

18. ábra. Két dupla hurok egyesítése

- C_R : A primer PCM-rendszer ismétlődő csatornánként és km-enként felmerülő költsége ezer Ft-ban,
 C_{MUX} : A primer PCM végberendezéspár csatornánkénti költsége ezer Ft-ban
 C_T : Az alkalmazott kábel km-enkénti érpárköltsége építési költség nélkül ezer Ft-ban,
 C_{AL} : A kábel km-enkénti építési költsége ezer Ft-ban,
 τ_0 : Névleges terhelhetőség (ERLIN függvényben) [12]
 N_0 : Az ERLIN függvényben használt kezdeti áramkör szám [12]
 C_{MUXF} : A fényvezetőre telepített tercier szintű PCM végberendezéspár csatornánkénti felmerülő végponti költsége ezer Ft-ban, ami magába foglalja a multiplexer, optikai adó-vevő és rekonfigurátor költségét.
 C_{TF} : Az alkalmazott fényvezető kábel km-enkénti szállköltsége, ezer Ft-ban,
 C_{ALF} : A fényvezető kábel km-enkénti építési költsége, ezer Ft-ban
 γ, ϑ : Egy előfizető kezdeményezett és végződő forgalma Erlangban
 M : Az aktuális koncentrátorméret
 α_0 : Az aktuális koncentrátor felajánlott forgalma, Erlangban
 β_0 : Az aktuális koncentrátör végződő forgalma, Erlangban $A = \alpha_0 + \beta_0$

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] ITT Bulletin: ITT 1240 Digital Exchange. A Technical Description.
- [2] Kolláth G.: Digitális előfizetői hálózatok tervezése Posta, 1983. 8. sz.
- [3] P. Zafropulo: Performance evaluation of reliability improvement techniques for single-loop communications systems. IEEE Transactions on Communications Vol. Com-22-No.6. June 1974.
- [4] E. R. Hafner: Digital communication loops — A survey. 1974. Zürich Seminar D1.
- [5] A. Beardley, A. Marshall, H. Salwen, N. Salwen: On survivable rings. Telephony. April 1985.
- [6] H. Shirakawa: 100 Mb/s Optical Loop Network Supports TSUKUBA EXPO'85. ITR: Vol. 27. № 1. 1985.
- [7] I. Hirano, Y. Inoue: Integrated optical fiber digital Pair Loop System for regional interoffice trunk network. Review of the Electrical Communication Laboratories Vol. 30. № 4. 1982.
- [8] G. Mroczynski, J. Weber: Structure and availability of service integrated network. 2-nd Int. Network Planning Symp. Brighton, England, March 1983.
- [9] Oprics Gy. (szerk): Góckörzetek tervezési irányelvei 1101/1984. MP. sz. utasítás
- [10] B. Golden, L. Bodin, T. Doyle, W. Stewart: Approximate traveling salesman algorithms. Operation Research Vol. 28. № 3. Part II. 1980.
- [11] Kolláth G.: Hurokhálózatok tervezési módszerei Egyetemi doktori értekezés, 1984.
- [12] P. V. Linh, Sallai Gy.: Áramkörnyalábok méretezése túlterhelt tartalékkal. Híradástechnika 1982. 7. sz.