

Hátoldali huzalozástervezése. A TAL-2 program

ETO 621.049.75.001.2: 681.3.06 TAL-2

A kártyák nyomtatási tervének elkészülése után a következő feladat a kártyák közti huzalozás tervezése. A huzalozási tervek elkészítéséhez szükséges kiindulási adatok egyrésze a kártyára bontás során, a másik része pedig a kártyák nyomtatásának tervezése során állt elő.

A kártyára bontás eredménye a kártyák közti összekötések táblázata, amely megadja, hogy az egyes jelek melyik kártyákat kötik össze. A nyomtatás eredményeként pedig meg lehet tudni, hogy egy adott jelet a kártya milyen sorszámú érintkezőjéhez kell csatlakoztatni. A tervezés feladata a kártyák kereten belüli elhelyezkedésének a meghatározása és a közvetlenül huzallal összekötendő pontpárok kijelölése, mindez valamely optimalitási feltételt kielégítve.

A következőkben foglalkozunk a probléma egy elméleti megoldási lehetőségével, majd ismertetjük az eljárást alkalmazó TAL-2 programot.

1. Az elhelyezési probléma egy megoldása

A blokkyszerű felépítésű elektronikus berendezéseknél fontos feladat a keretekben elhelyezkedő kártyák csatlakozói közti huzalozás optimális megtervezése. Az általunk kitüntetett optimalitási elv a következő: a kártyák egymáshoz képesti elhelyezkedése és az előírtan ekvipotenciális érintkezők közti huzalösszekötések minimális összhuzalhosszú eredményezzenek, csavart huzalozási (wire-wrap) technológiára.

Adott kártyaelhelyezésnél az ekvipotenciális érintkezők közti minimális összhosszúságú kötések a gráfelméletből ismert minimális fák megkeresésével kaphatjuk meg. Itt egy fa csúcsait az ekvipotenciális érintkezőcsúcsok, a fa éleit a csúcspárok közti huzalösszekötések, az élhez rendelt hosszút pedig az összekötött csúcspárok geometriai távolságai képviselik.

Legyen p egy adott elrendezés, ahol elrendezésen a kártyák és a keretekben levő pozíciók kölcsönösen egyértelmű egymáshoz rendelését értjük; j egy adott huzalozás, az ekvipotenciális érintkezőcsúcsok összekötéseinek egy megadása; φ a fák száma; v_i az i -edik fa csúcsainak száma; w_i az i -edik fához rendelt súly; e_{ij}^p az i -edik fa j -edik élének hossza, adott p és j mellett. Ekkor a feladat formálisan a következő: keresendő az a $p = p^*$, $j = j^*$, melyre az

$$L(p, j) = \sum_{i=1}^{\varphi} \sum_{j=1}^{v_i-1} w_i e_{ij}^p \quad (1)$$

célfüggvény minimális értéket vesz fel.

1.2. Irodalmi áttekintés

A feladat bonyolultsága következtében mindeddig nem áll rendelkezésre számítástechnikailag gazdaságos, az abszolút optimumot megtaláló eljárás. Az irodalomban javasolt valamennyi módszer, a nagy mennyiségű számítás miatt eleve számítógépes feldolgozást igényel. Ezek az algoritmusok az (1) célfüggvényt illetően azzal az elhanyagolással élnek, hogy a keretekben elhelyezkedő kártyákat pontszerű elemekként kezelik. A feladatot a következőképpen fogalmazzák meg:

Adott n elem és n pozíció, ahol meghatározottnak és rögzítettnek tekintik az elem párok közti összekötéseket. Ha $C(i, j)$ az i és j elemek közti összekötések száma, $P(j)$ a j pozícióban elhelyezett elem, $d(i, j)$ az i és j pozíciók egymástól mért távolsága, akkor keresendő az n elemnek az n pozícióhoz való egy egyértelmű $p = p^*$ hozzárendelése, melyre

$$L(p) = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C\{P(i), P(j)\} d(i, j) \quad (2)$$

minimális. Látható, hogy a pontszerűségtől eltekintve (2) nem más, mint (1) rögzített j -re.

Ennek a feladatnak a közelítő megoldására több javasolt eljárás található az irodalomban. Ezek az eljárások alapjukban véve heurisztikusak.

A probléma egy másik megközelítése lehet az, hogy az elrendezést tekintjük meghatározottnak és ehhez keresünk egy olyan huzalozást, mely minimális vezetékosszat biztosít. Ezt a feltételt maradéktalanul kielégítik a minimális fák, viszont ettől még az eredmény az optimumtól távolinak is adódhat. Itt nyilván arról van szó, hogy (1)-ben p -t rögzítettük. Mivel összesen $n!$ különböző elrendezés létezik n kártyára és n pozícióra, azonnal látható, hogy nem biztosíthat kielégítő optimumkeresést ezek közül egynek a figyelembevétele. Ez annál is inkább így van, mivel eddigi tapasztalataink szerint a gyakorlatban a legtöbb fa kevés élből áll, s ilyenkor a megoldás jóságát főleg az elrendezés, és nem a fák felépítése szabja meg.

Ami j rögzítését illeti, az összes fa lehetséges felépítéseinek száma

$$\sum_{i=1}^{\varphi} v_i^{v_i-2}$$

és ebből a φ számú fára egy-egy felépítést választanak kiindulásként. Erre az esetre javasolt algoritmusok már nem tudják egyértelműen biztosítani az adott huzalozáshoz tartozó optimális elrendezést, nem beszélve arról, hogy a pontszerű közelítés igen durva elhanyagolást jelent, másrészt j megválasztására nincs semmiféle támpont.

1.2. Eljárás adott feladat megoldására

Az (1) általános célfüggvényt a következő feltételek mellett kívánjuk optimalizálni:

a) A keret két egymás fölött lévő, egyenként 20 kártyapozíciót tartalmazó sorból áll.

A megoldás során két, a kártyák elhelyezésére vonatkozó lehetséges megkötést kell figyelembe venni:

b) Egy vagy több kártya előírt pozícióba kerüljön véglegesen.

c) Két vagy több kártya egymás melletti, illetve egymás alatti pozícióba kerüljön.

A keret bemeneti, illetve kimeneti jelei a keretek mellett rögzített közvetítő csatlakozókról futnak a kártyacsatlakozókra, ezért amennyiben kívánatos,

d) az ilyen közvetítő csatlakozókat úgy kell tekinteni, mint a b) szerint rögzített csatlakozókat, s ekkor a kártyák érintkezőcsúcsaiból hozzájuk menő vezetékek hosszai beleszámítanak a célfüggvénybe.

e) A csavart huzalozás megvalósíthatósága érdekében egy érintkezőcsúcsra maximálisan 3 vezeték köthető, vagyis a fák csúcsainak fokszáma 3-nál nem lehet nagyobb.

Az utóbbi feltétel figyelembevételé úgy történik, hogy először felépítjük az e) pont szerinti korlátozást nem tartalmazó minimális fákat, aztán a 3-nál nagyobb fokszámú csúcsokról azokat a többletet jelentő éleket „választjuk le”, amelyek helyett új megengedhető és a minimálisához legközelebbi összhuzalhosszt biztosító élek vehetők fel.

Az alábbiakban leírt eljárás az irodalomban ismeretektől eltérően az elrendezést és a huzalozást nem egymástól függetlenül kezeli, s ezáltal a végső huzalozás csak a végső elrendezésnél jön létre. Ezzel azokat a hátrányokat kívánjuk elkerülni, melyek a célfüggvény egyik változójának egyszer s mindenkorra való rögzítéséből adódnak.

A további tárgyalásunk folyamán mind a kártyák csatlakozóit, mind a közvetítő csatlakozókat egységesen kezeljük, közös nevük: csatlakozó. Minden kártyát egy csatlakozóval reprezentálunk, ahol az illető kártya beültetésén a csatlakozójának egy keretpozícióhoz való hozzárendelését értjük. Kiindulásként ismereteseek azok az adatok, melyek előírják, hogy mely csatlakozók érintkezőcsúcsai ekvipotenciálisak. Az ilyen egy fához tartozó csúcsokról azt is mondjuk, hogy egy jelhez tartoznak, ahol a fához rendelt súly a jel súlya. A jelek száma tehát azonos a fák számával, φ -vel. Rendeljük minden csatlakozóhoz egy φ komponensből álló ún. jelvektort, amelyek i -edik komponense az i -edik jel súlya, ha az i -edik jel szerepel a csatlakozón, különben zérus. Legyen a k -adik csatlakozóhoz rendelt jelvektor S_k , ennek az i -edik komponense pedig c_{ki} .

A jelvektorokra definiáljuk a \oplus és \odot műveleteket a következőképpen:

az $S_k \oplus S_l$ egy olyan φ komponensű jelvektor, melynek i -edik komponense

$$c_{si} = c_{ki} = c_{li}, \text{ ha } c_{ki} = c_{li}, \text{ másrészt}$$

$$c_{si} = c_{ki}, \text{ ha } c_{li} = 0, \text{ ill. } c_{si} = c_{li}, \text{ ha } c_{ki} = 0.$$

$$S_k \odot S_l = \sum_{i=1}^{\varphi} c_{pi} c_{li}, \text{ ahol}$$

$$c_{pi} = c_{ki} = c_{li}, \text{ ha } c_{ki} = c_{li}, \text{ ill.}$$

$$c_{pi} = 0, \text{ ha } c_{ki} \neq c_{li}.$$

Az alábbiakban leírt eljárás a szekvenciális optimalizálás elvét követi. Az eljárás kiválasztási és beültetési fázisok egymást követő sorozatából áll, ahol az előbbi fázis egy vagy több csatlakozó beültetésre való kijelölését jelenti, az utóbbi pedig a beültetés végrehajtását.

Legyen a csatlakozók számozása olyan, hogy ha összesen g számú rögzített csatlakozó van, akkor ezek 1-től g -ig számozódnak, a nem rögzített csatlakozók pedig $g+1$ -től n -ig.

Nevezzük gócnak a keret azon pozícióit, melyek egy rögzített csatlakozó körül helyezkednek el.

Előírjuk, hogy mindegyik góc olyan pozíciómezőt foglaljon le, mely nem tartalmaz közös pozíciót semelyik más góc pozíciómezőjével. Két pozíciót szomszédosnak mondunk, ha a befoglaló téglalapjaik valamelyik oldala közös. Egy góc mezőjében lefoglalt, ill. üres pozíciók vannak aszerint, hogy van-e oda beültetett csatlakozó, illetve nincs. A góc lefoglalt pozícióinak befoglaló téglalapjai területileg zárt egységet képviselnek: mindegyik téglalapnak van közös éle egy másikkal. A góc üres pozícióit a lefoglalt mező határoló oldalaival közös oldalú téglalapok jelölik meg.

A kiválasztási és beültetési fázis állandóan ismétlődik, mígnem az összes csatlakozó beültetésre kerül. Egy lépésnek fogjuk nevezni egy kiválasztás és beültetés végrehajtását.

Legyen $Q = \{1, 2, \dots, n\}$ a beültetendő kártyák halmaza. Legyen s lépés után ($s=0, 1, 2, \dots$)

$$B(s) \cup K(s) = Q,$$

ahol $B(s)$ az s . lépés után beültetett kártyák halmaza, $K(s)$ a még be nem ültetett kártyák halmaza. Legyen továbbá $G(s) = \{1, 2, \dots\}$ az s . lépés utáni gócok halmaza. Jelöljük $U_k(s)$ -sel az s . lépés után a k . góchoz tartozó jelvektorok \oplus összegét.

1. Tegyük fel, hogy $g > 1$ és kiindulásként legyen $G(0) = \{1, 2, \dots, g\}$, $B(0) = G(0)$, $U_k(0) = S_k$, $k \in G(0)$. Az s . lépésben minden $k \in G(s-1)$ és $l \in K(s-1)$ -re kiszámoljuk a következő η_{kl} értékét.

$$\eta_{kl} = U_k(s-1) \odot S_l - \sum_{j \in G(s-1), j \neq k} U_j(s-1) \odot S_l,$$

ahol minden rögzített k érték mellett l felveszi a $K(s-1)$ halmaz értékeit.

Legyen

$$\beta_k = \max_l \eta_{kl} \tag{3}$$

és végül legyen

$$\beta_j = \max_k \beta_k. \tag{4}$$

Látható, hogy (3) és (4) az s . lépésben egy vagy több jelvektor kiválasztását írja elő. Amennyiben (4)-nél több maximumhely van (nemcsak egy j értékre teljesül (4)), a következő szelektálást hajtjuk végre:

Ha egy j jelű maximumhelyhez több S_l tartozna, ezek közül azt választjuk ki, melyre az

$$U_j(s-1) \odot S_l \quad (5)$$

érték a legnagyobb. Ha nemcsak egy ilyen legnagyobb érték adódna, további szelekciós feltételként a megmaradt jelvektorokra számítandó

$$\delta_l(s) = S_l \odot S_l - \sum_{l \in G(s-1)} U_l(s-1) \odot S_l \quad (6)$$

és amelyekre ezek közül $\delta_l(s)$ minimális, azt rendeljük az illető j -hez. Ha még így is egynél több jelvektor választódna ki, akkor most már ezek közül az egyiket jelöljük ki tetszőleges választással.

Ha több j -hez egy S_l tartozna, úgy a jelvektorhoz tartozó csatlakozó ezen lépésben nem kerül kiválasztásra. Az ilyen jelvektort semlegesnek nevezük. Ilyenkor azokra a j -kre, amelyekre még „maradt” olyan jelvektor, ami nem semleges, s egynél több ilyen van, az előbb leírt pótszelekcióval választjuk ki a megfelelőt. Ha valamennyi j -hez csak semleges jelvektor választható ki, akkor tetszőleges kijelöléssel az egyik ilyen jelvektort valamelyik neki megfelelő j -hez rendeljük.

Miután a kiválasztás megtörtént, azokra a j értékekre, melyekhez van kiválasztott jelvektor, legyen

$$U_j(s) = U_j(s-t) \oplus S_l \quad (7)$$

és

$$l \in B(s)$$

míg az összes többi $k \in G(s-1)$ értékre továbbra is

$$U_k(s) = U_k(s-1). \quad (8)$$

A (7) összefüggésről: az l -edik csatlakozó a j -edik góchoz kerül, ahol S_l az s -edik lépésben a j -edik góchoz maximálisan kötődő jelvektor, míg $U_j(s)$ a j -edik góc s -edik lépés utáni ún. egyesített jelvektora.

Nem adtunk még szabályt az s . lépés utáni $G(s)$ halmaz rekurzív meghatározására. Ehhez előbb az s -edik lépéshez tartozó beültetési és huzalozási eljárást kell ismertetnünk.

Valamely góchoz kiválasztott csatlakozó beültetési pozícióját a következő módon határozzuk meg: A csatlakozót elhelyezzük a góchoz tartozó üres helyek mindegyikére, és egy-egy ilyen helyen felépítjük a megfelelő minimális fákat az adott elrendezéshez. Ezután a csatlakozót a góc lefoglalt mezőjében levő egyik csatlakozó helyére tesszük be, míg az ott levő csatlakozót a góc összes üres helyére beültetve külön-külön mindegyik elrendezésnél felépítjük a megfelelő minimális fákat. Ezt az eljárást a beültetésre kiválasztott csatlakozóval a góc összes előzőleg lefoglalt pozíciójára (a rögzített csatlakozó kivételével) végrehajtva, a végső beültetés ebben a lépésben az lesz, amelyik az előbb leírtak közül a legrövidebb összhuzalhosszt eredményezte.

Ha egy adott lépésben egynél több góchoz választódott ki csatlakozó, úgy ezek beültetését ebben a lépésben kell végrehajtani, de egyszerre csak egy gócra végezzük el a beültetést. Ha az s -edik lépésbeni összes beültetés után két gócra vagy többre nézve szomszédos üres vagy lefoglalt pozíció keletkezne, akkor a továbbiakban ezek a gócok egyazon gócnak

tekintendők. Ha az i - és j -edik gócról van szó $i < j$ -re, akkor a gócok sorszámait tartalmazó

$$G(s-1) \text{ és } G(s)$$

abban és csakis abban különböznek, hogy $G(s)$ már nem tartalmazza a j elemet. Másrészt a két egyesített gócra $U_j(s)$ a két góc (7) és (8) szerint számított egyesített jelvektorainak \oplus összege lesz. Hasonlóan járunk el kettőnél több góc egyesítésekor.

A fent leírt eljárást mindaddig folytatjuk, míg az egyesítések egyetlen gócot nem eredményeznek. Amint ez bekövetkezik, azon túl a

$$P_l(s) = \max_{l \in K(s-1)} (U_l(s-1) \odot S_l) \quad (9)$$

feltétel szerint választjuk ki a beültetendő l -edik csatlakozót. Ha (9)-nél több maximum adódna, azok közül azt választjuk, amelyikre a (6) feltétel szerint minimumot kaptunk. Ha még ezek után is több csatlakozó maradna, közülük szabad választással jelölünk ki egyet. Ennek beültetése ugyanúgy történik, mint több góc esetén. Mihelyt az összes csatlakozó beültetést nyert, az egész eljárás befejeződik.

II. Ha a kiindulásnál egyetlen rögzített csatlakozó van, akkor ugyanúgy járunk el végig, ahogy az egy gócra redukálódott esetben tettük.

III. Ha egyetlen csatlakozót sem kell rögzíteni (ilyenkor természetesen a közvetítő csatlakozókkal sem törődünk), akkor elsőként az a csatlakozó kerül kiválasztásra, amelyen a legtöbb jel van. Ha több ilyen csatlakozó van, tetszőlegesen választunk közülük.

A további kiválasztás ugyanúgy történik, mint egy góc esetén. Ugyanez vonatkozik a beültetésre is, azzal a különbséggel, hogy itt nem lesz rögzített csatlakozó, továbbá a két kártyasort úgy tekintjük, hogy végtelen számú pozíciót tartalmaznak. Ekkor csak arra kell tekintettel lennünk, hogy az összes csatlakozóra legvégül kialakuló beültetést a két egymás fölötti 20—20 pozíciós sorba lehessen befoglalni.

1.3. Egy korlátozás fegyelsembevétele

Ha két vagy több csatlakozónak előírás szerint egymás mellett kell elhelyezkedni, akkor ezen csatlakozók jelvektoraihoz egy fiktív, a többi összetevőhöz képest több nagyságrenddel nagyobb kiegészítő összetevőt rendelünk, és előírjuk, hogy az ehhez tartozó fiktív jel a csatlakozók geometriai középpontján elhelyezkedő fiktív érintkezőcsúcsokon legyen.

Kötelező egymás alatti elhelyezkedés esetén a felső sorban levő csatlakozók alsó részén, az alsó sorban levő csatlakozók felső részén definiáljuk az extrém nagy súlyú fiktív jelet tartalmazó érintkezőcsúcsot.

Annai pótlólagos fiktív összetevővel kell a jelvektorokat bővíteni, ahány — a leírt módon egymáshoz rendelt csatlakozókból álló — csoport létezik.

Ezáltal az előző fejezetben ismertetett elhelyezési és huzalozási eljárással egységesen kezelhetjük a csatlakozókat: a jelvektorok fiktív összetevői biztosítani fogják az előírtan szomszédos csatlakozók egymást közvetlenül követő kiválasztását, a fiktív érintkezőcsúcsok és a faelek pedig a megfelelő beültetésüket.

2. A TAL-2 program

Az SZKI-ban 1970-ben elkészült a TAL-2nevű program, amely kártyablokkok hátoldali huzalozását tervezi meg. A program jelenleg önállóan használható, a bemenő adatokat lyukkártyáról olvassa be. A későbbiek során a teljes konstrukciós tervezést megoldó programrendszer egy részprogramja lesz, és fel tudja használni a már korábban kapott és gépen belül tárolt eredményeket is.

A TAL-2 program elvégzi a kártyák kártyablokkokban történő elrendezését és megtervezi a kártyák érintkezői közti wire-wrap huzalösszekötéseket úgy, hogy a kártyablokkra kiadódó összes huzalhossz minimális legyen. Eközben figyelembe vesz bizonyos előírásokat és korlátozásokat.

A program eredménye egy elhelyezési rajz és egy összekötési táblázat, amely a számított adatokat tartalmazza. A gépben tárolt adatok alapján a továbbiakban nem jelent problémát, hogy a felhasználók igényeinek megfelelően gyártási vagy üzemeltetési dokumentációként szolgáló táblázatokat lehessen kiadni, bármilyen kívánt formában. Jelenleg egyféle realizációs táblázatot ad ki a program, amely a huzalokat a csatlakozók és azon belül az érintkezők sorszáma szerint rendezve tartalmazza. Ez a táblázat gyártási dokumentációként szolgál.

A következőkben röviden ismertetjük a TAL-2 program felépítését és a használatával összefüggő tudnivalókat.

2.1. Az adatok előkészítése

A programot a tervezés azon szakaszában lehet igénybevenni, amikor már a rendszer kártyákra bontása megtörtént és az összekötendő érintkezők sorszáma is meghatározott.

Az elhelyezési és az összekötési terv elkészítése céljából ekkor a program számára meg kell adni az egymással összekötendő (ekvipotenciális) érintkezők listáját. Az egyes érintkezőkre a következő két adattal kell hivatkozni:

- a kártya azonosítója
- az érintkező sorszáma

Az egyes ekvipotenciális érintkező csoportokhoz lehet, de nem kötelező egy jelazonosítót is hozzárendelni.

A következőkben felsoroljuk a programhoz szükséges, illetve lehetséges bemenő adatokat:

a) Általános adatok

- a kártyablokk konstrukciós adatai
- vezérlő adatok: milyen táblázat kell, milyen legyen az optimalizálás foka (p), van-e rögzített kártyapozíció?

b) Rögzített kártyát definiáló adatok.

Ha van olyan kártya, amelynek a helyét a tervező előre kijelöli, akkor ezek adatait is meg kell adni:

- a kártya azonosítója,
- a kijelölt pozíció.

A kártyablokkból kimenő vezetékek számára szolgáló csatlakozót rögzített kártyaként kell kezelni és itt kell a helyét definiálni.

c) Jelet és ekvipotenciális érintkezőket definiáló adatok.

A kártyablokkban szereplő valamennyi jelet definiálni kell és fel kell sorolni a hozzátartozó érintkezőket.

Egy jel adatai a következők:

- a jel neve (nem kötelező adat),
- a jel vagy huzal típusa (nem kötelező),
- a jel súlya (ha nincs megadva, akkor 1),
- az érintkező pontok listája:
 - a kártya azonosítója,
 - az érintkező sorszáma,
 - a jelforrás jele (nem kötelező),
 - az érintkezőn elhelyezhető vezetékek száma (ha nincs megadva, akkor 3).

2.2. A program leírása

A TAL-2 program blokkvázlata az 1. ábrán látható. Az ábra alapján a program működése különösebb magyarázatot nem igényel, az eljárás a 2. pontban ismertetett módszert követi.

A felhasználás során szerzett tapasztalatok azt mutatják, hogy a beültetésre kiválasztott kártya helyének keresése során nem szükséges valamennyi, már beültetett kártyahelyet is megvizsgálni. Ez egyrészt rendkívül sok időt igényel, másrészt alig javít az eredményeken. A program számára ezért egy p paraméterrel (lásd 2.1a pont) meg lehet adni, hogy csak a kiválasztott góc üres helyeit vizsgálja végig ($p=0$), vagy vizsgálja ugyan a már beültetett helyeket, de ezek közül csak az üres hellyel szomszédosakat ($p=1$) vagy az üres hellyel szomszédos helyet és annak a szomszédját is ($p=2$). A p az úgynevezett cserélési mélység, amelyet az általános adatok között kell megadni.

A program nyelve FORTRAN és az SZKI Siemens 4004/45-ös gépére van írva. A futási idő természetesen függ a kártyák, a bekötött érintkezők és jelek számától, továbbá erősen függ a cserélési mélységtől.

Egy jellemző futási adat: 20 kártya elhelyezése, 220 jel bekötése 0 cserélési mélység esetén 7,5 percet vett igénybe.

2.3. Eredmények

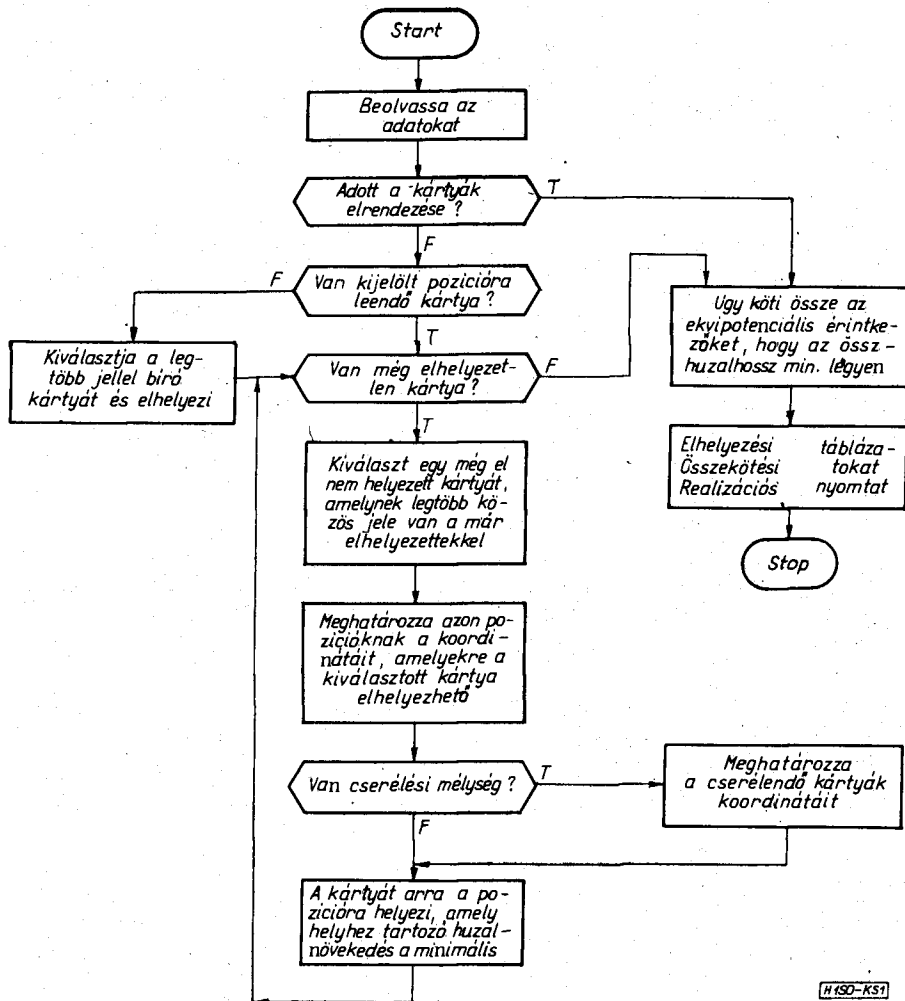
A program az eredményeket sornyomtatón adja ki, táblázatok formájában.

a) Elhelyezési táblázat

A táblázat három sorból áll. Az első sorban a kártyapozíciók sorszámai állnak, a következő két sor pedig a kártyablokk első, illetve második sorában a megfelelő kártyapozícióba elhelyezett kártyák azonosítóit tartalmazza.

b) Összekötési táblázat

Ez a táblázat a beolvasás sorrendjében felsorolja az egyes jeleket, részben a beadott, részben a számított



1. ábra. A TAL-2 program blokkvázlata

huzalozási adatokkal együtt. Egy jel a következő adatokkal szerepel a táblázatban:

- a jel sorszáma, amelyet a program ad a beolvasás sorrendjében,
- a jel neve (ha van),
- a jel vagy huzal típusa (ha van),
- érintkezőpárok listája. Az egy sorba írt két-két érintkezőt közvetlenül össze kell kötni. Egy érintkezőpár adatai a következők:
 - honnan (kártyapozíció és érintkező sorszám),
 - hova (kártyapozíció és érintkező sorszám),
 - kötési hossz (mm),
 - jelforrás jele (ha van),
 - az érintkezőpár (a huzal) sorszáma,
- a fa hossza.

Az összekötési táblázat végén kiírásra kerül még az összegzett teljes huzalhossz.

c) Realizációs táblázat

Csak a huzalozás elkészítéséhez szükséges „honnan-hova” adatokat tartalmazza, a jelekre vonatkozó információk nélkül. Az esetleges azonosítás céljából a két adathoz egy harmadik csatlakozik, a huzal sorszáma, amely az összekötési táblázatban is szerepel. Mivel ennek első fele a jel sorszáma, így a huzal-

hoz tartozó jel könnyen kikereshető és így a további adatok felderíthetők.

A huzalok felsorolása a kártyapozíciók, ezen belül pedig az érintkezők sorrendjében történik. Minden huzal csak egyszer szerepel a táblázatban, és pedig annak a végének a bekötési pontjánál, amelyhez kisebb kártyapozíció sorszám tartozik, illetve kártyán belüli összekötéseknél a kisebb sorszámú érintkezőknél.

A huzalok csoportosítva vannak egy-egy kártyasoron belüli, illetve a kártyasorok közti összekötések szempontjából. Egy-egy ilyen csoporton belül újabb csoportosítás lehetséges, mégpedig vezeték típusok szerint, ha ezt a felhasználó kívánja. A felsorolási elv minden csoporton belül érvényesül.

I R O D A L O M

- [1] Cooper, L.: Heuristic methods for location-allocation problems. SIAM Review, January 1964. pp. 37—53.
- [2] Steinberg, L.: The backboard wiring problem: A placement algorithm. SIAM Review, January 1961. pp. 37—50.
- [3] Rutman, R. A.: An algorithm for placement of inter-connected elements based on minimum wire length. Proc. SJCC, April 1964. pp. 477—491.
- [4] Nicholson, T. A. J.: Permutation procedure for minimizing the number of crossings in a network. Proc. IEE. January 1968. pp. 21—26.

- [5] *Kakita, H. H.*: Automatic wiring verifier. *Computer Design*, June 1968. pp. 50—54.
- [6] *Herbst, R. T.*: Designing equipments with computers. *Bell Laboratories Record*, April 1966. pp. 129—134.
- [7] *Prim, R. C.*: Shortest connection networks and some generalizations. *The Bell System Tech. Journal*. November 1957. pp. 1389—1401.
- [8] *Pomentale, T.*: An algorithm for minimizing backboard wiring functions. *Comm. of ACM*. November 1965. pp. 699—703.
- [9] *Garside, R. G.—Nicholson, T. A. J.*: Permutation procedure for the backboard-wiring problem. *Proc. IEE*. January 1968. pp. 27—30.
- [10] *Koch*: Computer-assistierter Entwurf von Geräteverdrahtungen. *Nachrichtentechnik*, H. 9., 1967. pp. 351—357.
- [11] *Merkin, N.*: Unsnarl your complex wiring problems. *Electronic Design*, November 1968. pp. 72—76.
- [12] *Loberman, H.—Weinberger, A.*: Formal procedures for connecting terminals with a minimum total wire lengths. *Journal of ACM*. April 1957. pp. 428—433.
- [13] *Gilmore, P. C.*: Optimal and suboptimal algorithms for the quadratic assignment problem. *Journal of SIAM*, June 1962. pp. 305—313.
- [14] *Houghton, J.*: A system for the placement of circuit modules. *IEEE Conference Publications*, No 51. 1969. pp. 82—88.
- [15] *Помазанов, В. М.*: К задаче о размещении ачеек в паннели. В сборнике статей «Применение вычислительных машин для проектирования цифровых устройств», ред. Матюхи, Н. Я., Изд. «Советское Радио», Москва, 1968, стр. 165—182.
- [16] *Штеин, М. Е.—Гайдаенко, В. С.*: О задачах трассировки монтажных соединений. См. (15).