

Algoritmus alállomás-körzetek egyvonalas megjelenítésére

Absztrakt: A dolgozat célja bemutatni egy algoritmust, amely képes olyan egyvonalas kapcsolási rajzok készítésére, amelyek megjelenítenek több, egy alállomáshoz tartozó leágazást. Az alállomás itt olyan transzformátor állomás érthető, amelyből a villamos energia rendszer egy közép feszültségű (Köf) hálózatrésze kerül ellátásra. Az algoritmus első lépésében a Köf hálózatrészt olyan matematikai gráffal modellezzük, amelyben a csomópontok halmazát a transzformátor állomások és elágazások, az összekötések halmazát pedig a távvezetékek és kábelek képezik. Az így kapott gráfot leágazásokra bontjuk, amelyeket az algoritmus külön jelenít meg és a végén kombinálja össze őket egy egységes egyvonalas rajzon, amelynek a központjában az alállomás helyezkedik el. Az algoritmus tesztelésére több valós alállomási körzet modelljét használtuk, amelyeket három különböző, európai elosztóhálózat modelljéből nyertünk ki. Az algoritmus jó minőségű egyvonalas rajzokat készített akár ezernél több csomópontból álló gráfokra is. A képek minőségének osztályzására a szerzők egy képletet fejlesztettek ki, amely összevethetővé teszi a különböző nagyságú és topológiájú hálózatrészek egyvonalas kapcsolási rajzait.

Kulcsszavak: egyvonalas kapcsolási rajz, algoritmus, elosztóhálózat, villamos-energia rendszer, alállomási körzet

Bevezető

A villamos energiát elosztó, közép feszültségű (Köf) elosztóhálózatokat üzemeltető cégek összetett információs és kommunikációs rendszereket (IKR) használnak az üzleti folyamataikban. Ezen információs rendszerek fontos eleme a villamos energia elosztására használt, földrajzilag kiterjedt területen üzemelő, villamos energetikai berendezésekből felépülő elosztó-hálózat felügyeletére és irányítására használt üzemirányítási rendszer (ÜIR), angolul Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA). A SCADA telephelye általában az üzemeltető cég központi épülete, az ún. üzemirányítási központ (ÜIK). Mivel az elosztóhálózat

* Dr. Lendák Imre, egyetemi docens, Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományok Kara, Újvidék

** Kovačev Nemanja, PhD hallgató, Újvidéki Egyetem, Műszaki Tudományok Kara, Újvidék

A kutatást a Szerbia Köztársaság Oktatási és Tudományügyi Minisztériuma támogatja, a III-42004 és TR33013, 2011 jelzésű projektek keretén belül.

több ezer, vagy akár több tízezer elemből (pl. állomások, vezetékek, elágazások, oszlopkapcsolók) is állhat, annak megfelelő megjelenítése komoly kihívást jelent. Ezen rendszereket általában a berendezések földrajzi elhelyezkedését követő, térkép alapú képeken, illetve a sokszor jelentősen áttekinthetőbb, ún. egyvonalas kapcsolási rajzokon (röviden: egyvonalas) jeleníti meg a SCADA. Az „egyvonalasok” elnevezése onnan ered, hogy a három fázisú rendszerekben egymás mellett futó három párhuzamos vezeték megjelenítésére egy vonalat használ.

Az egyvonalas kapcsolási rajzokat korábban kézzel kellett készíteni, vagy számítógépes szerkesztő szoftverek segítségével, vagy még korábban a falisémákon megfelelő építőelemek kombinálásával. Mivel a modern ÜIR fejlesztési projektekben követelmény, hogy az adatokat csak egy helyen kelljen bevinni, ezért a Köf elosztóhálózatot sokszor a térinformatikai rendszerben (angolul *Geographic Information System – GIS*) kiépített hálózatmodell alapján építi ki a SCADA alrendszer. Miután a hálózatmodell kiépült, annak optimális megjelenítése a következő lépés. Az egyvonalasok általában nem épülnek ki a GIS alrendszerben, hanem a SCADA-ban kell őket bevinni. Ennek a dolgozatnak a célja olyan algoritmus kifejlesztése, amely megkönnyíti a SCADA alrendszerben az egyvonalas kapcsolási rajzok kiépítését, vagyis egy adott alállomás betáplálási körzetéhez tartozó elemek egyidejű megjelenítését egy egységes egyvonalas kapcsolási rajzon.

A dolgozat a bevezető mellett még a következő fejezeteket tartalmazza: a vonatkozó szakirodalom bemutatása, az algoritmus leírása, az eredmények bemutatása és a zárószó.

Az vonatkozó szakirodalom áttekintése

A villamos energia rendszerek (VER) megjelenítésére használt egyvonalas kapcsolási rajzok (a továbbiakban röviden egyvonalas) valójában ortogonális gráf diagramok a gráfok két dimenzióban történő megjelenítésére [1]. Egy egyvonalas megjelenítheti a VER különböző nagyságú részletét, pl. egy leágazást, egy alállomás több leágazásból álló körzetét, illetve akár több alállomásból és az azok által ellátott leágazásból álló részét. Az új SCADA rendszerek kiépítése során a képek kezdeti megrajzolása komoly munkát jelent (akár több hetes, kézi munka egy-egy összetett képre) és később is állandóan karban kell tartani őket, követve az elosztóhálózatban bekövetkező változásokat, fejlesztéseket. Arra is léteznek példák, hogy egy-egy cég több különböző szoftvert használ és

azokban párhuzamosan karban tartja a rendszer egyvonalas rajzait – ebben az esetben a képek cseréje a különböző alrendszerek között komoly kihívást jelent [2].

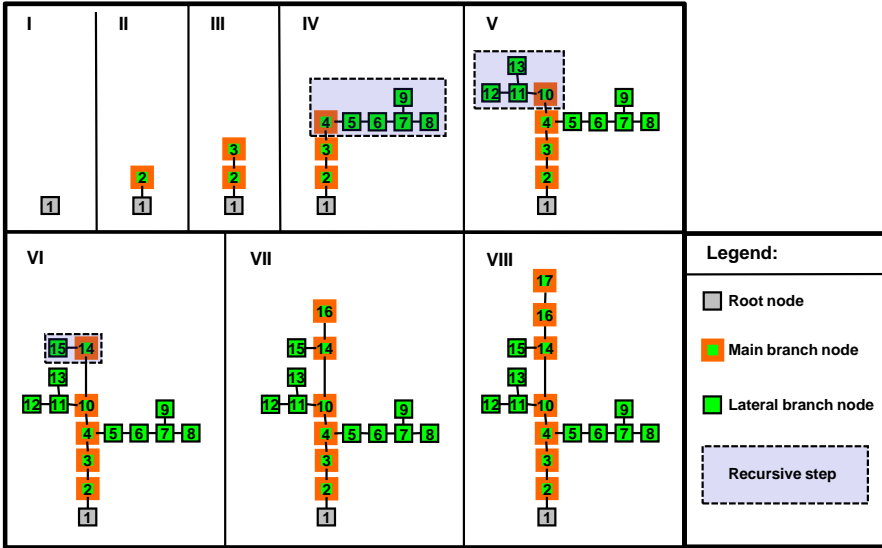
Az utóbbi években megnövekedett az érdeklődés a villamos energetikai rendszerek különböző képi megjelenítésére alkalmas algoritmusok iránt. Wong és társszerzői egy súlyozott erők optimalizáláson alapuló algoritmust fejlesztettek ki, amely hasznos lehet a meghibásodások utáni *post mortem* elemzések terén [13]. Egyes kutatók az egyvonalasok generálását a térkép (ún. GIS) képektől kezdik, amelyeken a ferde vonalakat függőleges és vízszintes, szükség esetén tört vonalakkal helyettesítik [1][9]. Mások az egyvonalasok képzését optimalizálási problémaként írják le, amelynek megoldására különböző algoritmusokat használnak [6][8][10]. Ezen a téren bemutatásra került néhány többé-kevésbé sikeres kísérlet ún. *soft computing* algoritmusok alkalmazásával, pl. genetikus algoritmus [4], vagy raj optimalizálás [5]. Sajnos ezek az algoritmusok általában csak kisebb gráfok megjelenítésére alkalmasak és az eredményeik nem determinisztikusak, vagyis nagyon változó minőségű képeket képeznek. Egyes kutatók probléma-specifikus (ún. *rule based*) algoritmusokat fejlesztenek, amelyek képesek egy-egy különálló leágazás megjelenítésére [11][12]. Az elosztóhálózatok különösen nagy mérete (több tíz-, vagy akár százezer csomópont) miatt a hálózat modellezésére használt gráf valamilyen felosztása is szükséges lehet [3], ugyanis ezzel a módszerrel jelentősen csökkenteni lehet a lehetséges megoldások terének méretét. A [7] hivatkozásban a szerzők olyan dinamikus képek generálására alkalmas algoritmust mutattak be, amely a hálózatot fontossági szint alapján egyszerűsíti és a képek megjelenítése során használt nagyítási szint függvényében jeleníti meg az adott nagyítási szinthez rendelt fontosságú objektumokat, a többieket pedig elrejt.

Algoritmus

A dolgozatban bemutatott, alállomás körzetének megjelenítésére képes algoritmusnak két bemenete van: a megjelenítésre szánt alrendszer hálózatmodellje IEC 61970-301 Common Information Model (CIM) formátumban, valamint az egyes leágazások irányát meghatározó, opcionálisan használható változók értéke – ezek határozzák meg, hogy az alállomásból a leágazás jobbra, balra, le vagy felfelé induljon. A bemenetek beolvasásától eltekintve az algoritmus a következő lépésekből áll:

1. Az alállomás körzetének modelljét matematikai gráffal írjuk le, amelyben a V a csomópontok-, az E pedig az összeköttetések halmaza.
2. Az így kapott gráfot felosztjuk az egyes leágazásokat leíró kisebb gráfokra
3. A leágazásokat leíró gráfokat a következő eljárással jelenítjük meg
 - a. A fő (általában leghosszabb) ág megtalálása
 - b. A leágazás felosztása a főághoz tartozó csomópontok mentén
 - c. A csomópontok egymás utáni kihelyezése a képre egy vonal mentén
 - d. A főág csomópontjainak vizsgálata – ha elágazást tartalmaznak, akkor az elágazás rekurzív kezelése, úgy mintha egy teljes leágazás lenne, a főágra merőlegesen
4. A leágazás megjelenítése az alállomást leíró csomópont mellett, a(z opcionálisan) megadott irányban

Az első lépésben a CIM formátumban kapott hálózatmodellből matematikai gráfot épít az algoritmus. A csomópontok halmazát maga a központi alállomás, a transzformátor állomások, elágazások és az oszlopkapcsolók (csak a légvezetéki hálózatokon) képezik. Az összeköttetések halmazát (E) a csomópontokkal modellezett objektumokat összekötő szabadvezetékek és kábelek képezik. Fontos megemlíteni, hogy az egyvonalas képzését megkönnyítendő, a hálózatrészt leíró gráfokból töröltük a leágazások közötti kapcsolatokat az alapállapotban nyitott kapcsolókészülékek mentén, vagyis a modellt teljesen sugarassá tettük. Ez a lépés lehetővé tette, hogy a leágazásokat egymástól teljesen függetlenül vizualizáljuk. Az első lépés kimenete egy matematikai gráf melyet a szomszédsági mátrix és/vagy lista ír le.



I. kép

Az algoritmus lépései - a rekurzív hívásokat szaggatott körvonalú négyszögek jelölik

A második lépésben a matematikai gráfot felbontjuk a leágazásokat leíró összetevőire. A felbontást az állomást leíró csomópont eltávolításával végzi az algoritmus. Ennek a lépésnek a bemenete az első lépésben kapott gráf és az állomási csomópont azonosítója, a kimenete pedig a leágazásokat leíró, kisebb gráfok listája.

A harmadik, legösszetettebb lépésben az algoritmus végigfut a leágazások listáján, megkeresi az állomástól mért leghosszabb utat mélységi kereséssel. Ezt a leghosszabb utat kezeli a leágazás főágaként. A főág csomópontjait egyesével elemezzük, ha kettőnél több összeköttetéssel rendelkeznek (vagyis elágazást modelleznek), akkor az adott csomópontot új gyökérként jelöli meg az algoritmus és rekurzióba kezd, vagyis a teljes algoritmust újra futtatja rajta.

Az egyes leágazások képeinek megrajzolása után azokat az algoritmus összeilleszti az állomás csomópontja körül. Az algoritmus abba az irányba (jobb, bal, fel, le) forgatja el az egyes leágazások képeit, amelyet bemenetként megkapott. Ha a felhasználó nem adta meg ezeket az irányokat, akkor az algoritmus véletlenszerűen választja meg őket. A rekurzióban meghívott, leágazáson belüli mellékágak irányait nem kell előre meghatározni, ugyanis azokat az algoritmus szintén véletlenszerűen

választja meg, pl. ha főág jobbra tart, akkor vagy felfelé, vagy lefelé, 90 fokos szögben.

Az algoritmus itt leírt lépéseinek részletes képi megjelenítését a 1. kép tartalmazza. Az itt bemutatott példában egy egyszerű, kézilég generált leágazást jelenít meg az algoritmus. Az algoritmus a központi csomópontból indul és egyesével rakja ki a leágazás főágát képező csomópontokat. Amikor elágazáshoz ér, akkor rekurzióba kezd, vagyis ugyanazt az eljárást alkalmazza az oldalágakra, amelyet a főág megjelenítésére. Az algoritmus egyszerűsített pszeudo-kódja a következő:

```
FUNCTION [diagram] = SubAreaDraw(graph, rootnode)
    direction = (recursion level is 1) ? user defined : left then right
    feeders = ExtractFeeders(graph)
    FOREACH feeder IN feeders
        mainbranch = ExtractMainBranch(feeder)
        FOREACH node IN mainbranch
            subgraph = ExtractSubGraph(node, feeder)
            IF subgraph has 1 node
                subdia = draw 1 node
            ELSE
                subdia = SubAreaDraw(subgraph, node) // recursion
            END
            feeder_dia.Add(subdia)
        END
    END
    diagram.PlaceFeeder(rootnode, feeder_dia) // direction side of the
    root node
END
END
```

Komplexitás analízis

A fenn leírt algoritmus komplexitását a következő források és eszközök használata alapján végeztük:

- Idő, azaz mennyi ideig tart az algoritmus végrehajtása.
- Memória, azaz mennyi memóriára van szüksége az algoritmusnak egy kép generálásakor.

Mivel a ma használt számítógépek általában elegendő mennyiségű memóriát tartalmaznak összetett feladatok végzésére is, az algoritmus sebességét választottuk ki, mint kritikus mércét és a további analízis erre fog összpontosítani. A komplexitás analízis az algoritmus pszeudo-kódját elemzi és a bemenetek függvényében állapítja meg az algoritmus komplexitási tényezőjét:

- A gráf csomópontjainak száma: $N=|V|$
- Az algoritmus komplexitása a bemenet függvényében: $O(f(N))$

Az algoritmus fenti leírása tartalmazza annak lépéseit:

- A gráf felbontása leágazásokra
- Egy-egy leágazás képezésének generálása
- A különálló leágazási képek összeillesztése

A gráf felbontását mélységi kereséssel (angolul Depth First Search (DFS)) végeztük, amelynek a komplexitása a legrosszabb esetben is $O(N)$, vagyis arányos a csomópontok számával, amelyek mindegyikét meg kell vizsgálnia a „bejárás” során.

A leágazás képezésének megjelenítése rekurzív eljárással történt. A rekurzív hívások száma (R) nagyjából állandó volt, ugyanis az elágazások összetettsége korlátozott még az igen szerteágazó, szabadvezeteki hálózatok esetében is. Példaként szemléljük meg a IV lépést a 1. képen, amelyben egy összetett oldalágot „rajzol” meg az algoritmus. Ebben az esetben a rekurzió mélysége 3, az első szint a központi csomópontból indul, a második a 4-es csomóponttól, a harmadik pedig a 7-estől. A tesztelésre használt, valós rendszerek alapján képezett gráfok esetében a rekurzió mélysége nem haladta meg az ötöt és nem függött a gráfok nagyságától – ez praktikus azt jelenti, hogy a leágazások összetettsége korlátozott az elosztóhálózatokban. A Kép 1-en bemutatott gráfot elemezve, a legrosszabb esetben minden egyes főági csomópontnak lenne összetett oldalága és maximális számú rekurzív hívásra lenne szükség, és az komplexitást az (1) képlet írná le:

$$R \cdot N \approx O(N) \quad (1)$$

Mivel az R állandó (maximum 5), ezért a képek megjelenítéséről is meg tudjuk állapítani, hogy arányos a csomópontok számával.

Az algoritmus utolsó lépésében az egyes leágazások rajzai kerülnek összeillesztésre az állomást ábrázoló nagyobb négyszög körül. A korábban megrajzolt leágazásokat egyben kell elmozgatni, azaz elrendezni az állomást körül. Minden egyes leágazásra egy vektort határoz

meg az algoritmus, amely mentén elmozgatja az összetevő csomópontokat, vagyis azoknak a koordinátáit egyesével kiszámítja. Mivel minden csomópontnak a koordinátáját csak egyszer számítja át az algoritmus, ezért ennek a lépésnek az összetettsége is $O(N)$, vagyis egyenesen arányos a csomópontok számával.

Mivel a legrosszabb esetben is az egyes lépések (összesen három) összetettsége $O(N)$, ezért megállapítjuk, hogy a teljes algoritmus összetettsége is egyenesen arányos a csomópontok számával, azaz $O(N)$ nagyságú.

Minőség elemzés

A szakértő ember ránézésre meg tudja állapítani az elosztóhálózat egészét vagy egy részét megjelenítő egyvonalas kapcsolási rajz minőségét, viszont a számítógépek számára ez igen összetett feladat. Ennek a problémának a megoldására, vagyis azért, hogy a számítógépek számára is lehetővé tegyük az ábrák osztályozását, a szerzők korábbi kutatásuk során kifejlesztettek egy egyvonalas kapcsolási rajzok osztályzására alkalmas képletet (2).

$$\text{osztályzat} = \frac{(200 \cdot \text{átfedés} + 100 \cdot \text{keresztezés} + \text{terület} + 20 \cdot \text{összekötések_hossza})}{\text{csomópontok_száma}} \quad (2)$$

A képlet a következő változók ismerete alapján teszi lehetővé a számítógép számára egy adott egyvonalas kapcsolási rajz osztályzását, vagyis annak meghatározását, hogy az mennyire „esztétikus”:

- Egymást átfedő csomópontok száma (*átfedés*)
- Egymást keresztező összekötések száma (*keresztezés*)
- Az egyvonalas kapcsolási rajz teljes területe (*terület*)
- Az összekötések hosszának összege (*összekötések_hossza*)
- A csomópontok száma (*csomópontok_száma*)

A képletben használt állandókat a szerzők a korábbi tapasztalataik, illetve nagyobb számú, különböző nagyságú leágazás és állomási terület ábrájának elemzése alapján határozták meg. A képletben használt állandók finom hangolása után ez a képlet lehetővé teszi (szinte) bármely egyvonalas kapcsolási rajz minőségének osztályzását.

Eredmények

A fenn bemutatott algoritmust a Matlab szoftvercsomag fejlesztői környezetében valósítottuk meg. A Matlabot azért választottuk, mert nagyon hatékony a mátrixok kezelésében, ami fontos jellemző, ugyanis a megjelenítésre kiválasztott alállomási területek akár ezernél is több csomópontból álltak. Ez praktikus azt jelentette, hogy az algoritmusnak olyan mátrixokkal kellett hatékonyan dolgoznia, amelyek mindkét dimenziója nagyobb volt ezernél.

Teszt adatként nyolc alállomási körzetet választottunk ki három valós elosztóhálózat modelljeiből. Mindhárom hálózat európai stílusú, háromfázisú elosztóhálózat volt. A valós rendszerekből kinyert adatok mellett a tesztelés során kézilég generált gráfokat is használtunk az algoritmus egy-egy jellemzőjének célzott tesztelésére, pl. nem planáris gráfok kezelése, amelyben vannak olyan csomópontok amelyekhez négynél több összekötés csatlakozik.

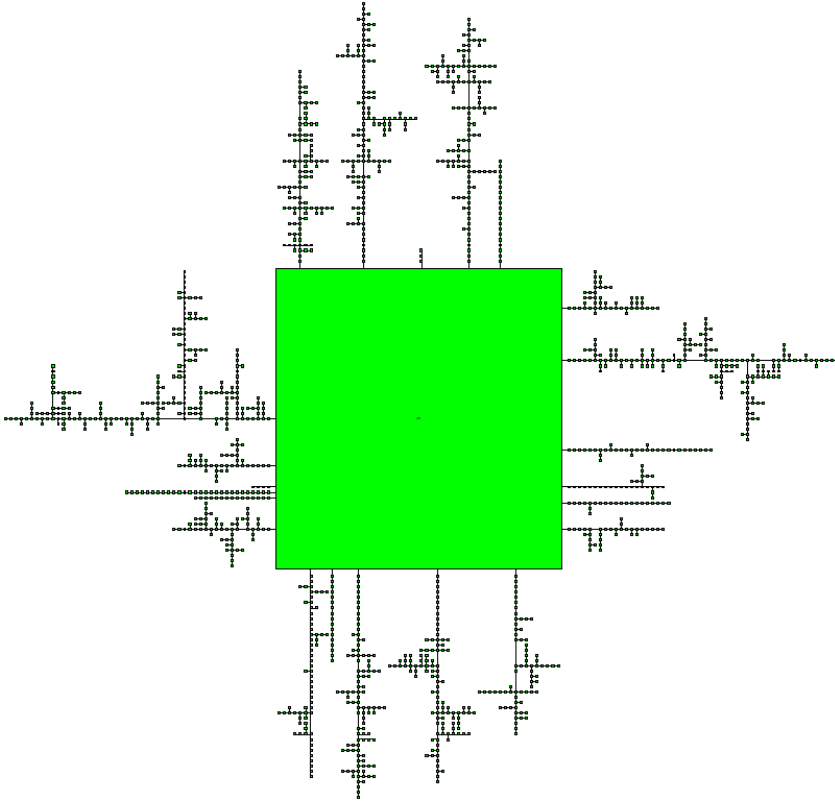
Terület sorszám	Csomópontok	Minőségi mutató
1	769	36.49
2	1324	48.41
3	1141	32.58
4	1435	36.00
5	336	36.25
6	88	48.44
7	575	32.61
8	142	37.89

*1. táblázat
Egyvonalas kapcsolási rajzok
minőségi elemzése*

A teszt adatok egyvonalas kapcsolási rajzait az algoritmus segítségével megrajzoltuk, majd a (2) képlet segítségével osztályoztuk őket. A minőségi osztályzás eredményeit a 1. táblázat tartalmazza. A táblázat három oszlopból áll, az elsőben a tesztelt hálózatrész sorszáma, a másodikban a csomópontok száma, a harmadikban a képlet segítségével kiszámított minőségi mutató látható. Mint a negyedik sorban látható, a legnagyobb megjelenített hálózatrész 1435 csomópontból állt.

A teszt adatok egyvonalas kapcsolási rajzait az algoritmus segítségével megrajzoltuk, majd a (2) képlet segítségével osztályoztuk őket. A minőségi osztályzás eredményeit a 1. táblázat tartalmazza. A táblázat három oszlopból áll, az elsőben a tesztelt hálózatrész sorszáma, a másodikban a csomópontok száma, a harmadikban a képlet segítségével kiszámított minőségi mutató látható. Mint a negyedik sorban látható, a legnagyobb megjelenített hálózatrész 1435 csomópontból állt.

A táblázatban megjelenített minőségi mutatók elemzése azt mutatja, hogy az értékek egy adott intervallumba esnek (30, 50) a megjelenített hálózatrészek nagyságától függetlenül. Ez fontos tényező, ugyanis azt bizonyítja, hogy a képlet lehetővé teszi eltérő nagyságú egyvonalas kapcsolási rajzok osztályzását.



2. kép

Az 1435 csomópontos hálózatrész egyvonalas kapcsolási rajza

A 2. kép tartalmazza az algoritmus által automatikusan elkészített legnagyobb egyvonalas kapcsolási rajzot. Ez a hálózatrész 21 leágazásból, illetve 1435 csomópontból (transzformátor állomások, elágazások, oszlopkapcsolók) áll. Az ábra közepén a nagy, színezett négyyszög a Naf/Köf állomást ábrázolja. A leágazásokat az állomás körül négy irányba rendezte el az algoritmus. Itt fontos kiemelni, hogy a képen megjelenített leágazások eltérő nagyságúak voltak, például a nagyon egyszerű, három csomópontból álló leágazások (pl. ipari felhasználó ellátására), illetve különösen összetett leágazások, amelyeknek számos oldalága van, amelyeknek az összetettsége szintén jelentős, pl. az állomástól balra rajzolt első leágazás. Ez utóbbiak valószínűleg lakótelepülések ellátását végzik.

Szintén fontos kiemelni, hogy a vonatkozó szak- és tudományos irodalomban bemutatott algoritmusok általában csak egy-egy leágazás

megjelenítésére képesek, vagyis nem jelenítenek meg teljes alállomási területeket. Az itt bemutatott algoritmus pótolja ezt a hiányt, ugyanis lehetővé teszi teljes alállomási területek megjelenítését, amelyek több, különböző összetettségi szintű leágazásból állhatnak.

Az algoritmusnak (legalább) egy hiánya van, név szerint az a korábban említett tény, hogy nem képes hurkolt hálózatrészek megjelenítésére. Ezért a tesztelés előtt a kiválasztott alállomási területeket alkotó leágazások közötti kapcsolatok bontani kellett. A szerzők bővíteni tervezik az algoritmust egy további lépéssel, amely úgy rendezné el a leágazásokat az alállomást ábrázoló központi csomópont körül, hogy lehetővé tegye a leágazások közötti kapcsolatok megjelenítését (is). További kutatási célként a szerzők tovább szeretnék fejleszteni az algoritmust és lehetővé tenni több, szomszédos és egymással kapcsolatban levő alállomási terület megjelenítését egy közös egyvonalas kapcsolási rajzon. Az algoritmus komplexitásának elemzését is folytatni kell, illetve szükséges összehasonlítani egyéb, hasonló célra fejlesztett megoldásokkal.

Összegzés

A dolgozat egy algoritmust mutat be, amely a villamos energia rendszerek részeinek, az ún. alállomási területeknek az egyvonalas kapcsolási rajzait (röviden: egyvonalas) képes automatikusan elkészíteni. Az algoritmus célja csökkenteni a szakértő emberek kézi munkáját, vagyis lerövidíteni az egyvonalasok elkészítésének idejét és költségét. A bemutatott megoldás képes az egy alállomáshoz tartozó leágazások megjelenítését egy közös egyvonalason, minimális emberi beavatkozással.

Az algoritmus bemenete a villamos energia rendszer hálózatmodelljének az a része, amelyet meg kell jeleníteni. A hálózatmodellt az algoritmus matematika gráffal írja le, amelyben a csomópontok halmazát egy alállomás, nagyobb számú transzformátor állomás, elágazás és oszlopkapcsoló képezi. Az összekötések a csomópontokat összekötő kábelek és szabadvezetékek. Az algoritmus a matematikai gráfot felosztja az alállomást leíró csomópont (ideiglenes) eltávolításával és így külön kezeli az egyes leágazásokat leíró kisebb gráfokat. A leágazás gráfokat tovább bontja az algoritmus a főág mentén levő oldalágakra és azokat rekurzív lépésekben jeleníti meg és a végén összeilleszti a főág mentén.

Az algoritmus tesztelésére nyolc, valós alállomási terület modelljét használtuk, amelyeket három különböző európai elosztóhálózat modelljéből nyertünk ki. Az algoritmus mind a nyolc esetben használható és

vizuálisan kielégítő egyvonalasokat készített. Kimutattuk, hogy az algoritmus komplexitása $O(N)$, ami lehetővé teszi, pl. ezernél több csomópontból álló, nagyobb hálózatrészek megjelenítését is. A tesztelés során megjelenített legnagyobb hálózatrész 1435 csomópontból állt.

A szerzők az egyvonalas kapcsolási rajzok minőségi elemzésére egy képletet fejlesztettek ki, amelye lehetővé tette a számítógép számára, hogy osztályozza az algoritmus által képezett képeket. Fontos kiemelni, hogy a képlet egy adott, viszonylag rövid intervallumba (30, 50) képezte le az elemzett ábrák minőségét.

A szerzők további kutatási tervei közé tartozik a bemutatott algoritmus továbbfejlesztése két irányban. Elsősorban jelentős lenne lehetővé tenni az enyhén hurkolt elosztóhálózatokra jellemző leágazások közötti kisebb számú kapcsolatok megfelelő kezelése, ugyanis az itt bemutatott algoritmus csak a kizárólag sugaras hálózatokat tudja önállóan megjeleníteni. Másodsorban a szerzők tovább fogják fejleszteni az algoritmust több, szomszédos alállomás területének egy közös egyvonalason való automatikus megjelenítésére.

Felhasznált irodalom:

- [1] G. Di Battista, P. Eades, R. Tamassia, and I.G. Tollis, “Graph Drawing: Algorithms for the Visualization of Graphs”, Prentice Hall, 1999.
- [2] L. Jian, W. Yuan, L. Gongquan, “Conversion from GIS based feeder maps to electric diagrams”, Automation of electric power systems, vol. 29, issue 14, pp. 73-77, 2005.
- [3] E. Haq et al., “Exchange of network model diagrams using CIM standard at the California ISO”, 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, pp. 1 – 4, 2011.
- [4] N. Kovačev, I. Lendák, D. Čapko, and A. Erdeljan, „Electric power distribution system visualization with graph partitioning”, 2013 IEEE AFRI-CON, pp. 1 – 6, 2013.
- [5] I. Lendák, A. Erdeljan, D. Čapko, and S. Vukmirović, “Algorithms in electric power system one-line diagram creation”, 2010 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC), pp. 2867 – 2873, 2010.
- [6] I. Lendák et al., “Electric power system one-line diagram generation with genetic algorithm”, 2010 8th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY), pp. 487 – 491, 2010.

- [7] I. Lendák, A. Vidács, and A. Erdeljan, “Electric power system one-line diagram generation with branch and bound algorithm”, 2012 IEEE International Energy Conference & Exhibition (ENERGYCON 2012), pp. 947 – 951, 2012.
- [8] I. Lendák, I. Rudas, and A. Erdeljan, “Algorithm for adaptive Smart Grid visualization”, 2013 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT 2013), pp. 802 – 807, 2013.
- [9] J. Li et al, “Study on visualization of distribution topology based on intelligent algorithms”, 2013 North American Power Symposium (NAPS), pp. 1 – 5, 2013.
- [10] X. Li, et al., “Distribution feeder one-line diagrams automatic generation from geographic diagrams based on GIS”, Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT 2008), pp. 2228 - 2232, 2008.
- [11] A.A. Mota and L.T.M. Mota, “Drawing meshed one-line diagrams of electric power systems using a modified controlled spring embedder algorithm enhanced with geospatial data”, Journal of Computer Science, vol. 7, issue 2, pp. 234-241, 2011.
- [12] P. S. Nagendra Rao and R.Deekshit, “Distribution feeder one-line diagram generation: a visibility representation”, Electric Power Systems Research, vol. 70, pp. 173-178, 2004.
- [13] Y.S. Ong, H.B. Gooi, and C.K. Chan, “Algorithms for Automatic Generation of One-line Diagrams”, IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, vol. 147, issue 5, pp. 292 – 298, 2000.
- [14] P.C. Wong et al, “A novel visualization technique for electric power grid analytics”, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, May-June 2009, vol. 15, issue 3, pp. 410 – 423, 2009.