MŰEGYETEM 1782
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Irányítástechnika és Informatika Tanszék

Dr. Pilászy György

Digitális technika 1
08. előadás

(Sorrendi hálózatok alapjai)

Lektorálta: Dr. Horváth Tamás

Sorrendi hálózatok alapjai

A kombinációs hálózatok csak olyan feladatok megoldására alkalmasak, ahol ugyanazon bemeneti értékre létrehozott kimeneti kombináció minden esetben azonos. Így a kombinációs hálózat minden egyes bemeneti kombinációhoz egyértelműen egy-egy kimeneti kombinációt rendel hozzá. Z-vel jelölve a hálózat kimenetét és X-el a bemenetét az alábbi összefüggést írhatjuk fel a kombinációs hálózat ki- és bemenetei között:

$$Z = F(X)$$

Ha a megoldandó feladat a kimenet értékét nem kizárólag a pillanatnyi bementi érték, hanem a korábbi bemeneti értékek alapján írja el, akkor erre a célra sorrendi logikai hálózatot kell terveznünk. A sorrendi hálózat a pillanatnyi bemeneti kombináción kívül a korábbi bemeneti kombinációkat, sőt - egyes esetekben - azok fennállásának sorrendjét is képes figyelembe venni.

Egy egyszerű példa erre a feladatra a jegyzet legelején említett napenergia hasznosító rendszer. Ott a melegvíz készítés igényét egy logikai feltétellel fogalmaztuk meg (T2<40°C), de mi történik, amikor pontosan a határra kerülünk? Ha a hőmérséklet „picit” fölé kerül, akkor lekapcsoljuk a szivattyút, ha „picit” alá, akkor vissza. Ez gyakori ki- bekapcsolgatást okoz, ami nem kedvez a kapcsoló elemek élettartamának, de a szivattyúnak sem. Korrektebb megoldás hiszterézis beépítése. Ez a gyakorlatban annyit jelent, hogy T2<40°C alatt bekapcsolunk, de ha már üzemel az SZ1 jelű szivattyúnk, akkor a kikapcsolás feltételét egy magasabb hőmérséklet túllépéséhez kapcsoljuk például T2>45°C. Ebben a példában tehát SZ1 kimenet új értékének meghatározásához a két komparátor jelzésén kívül szükségünk van SZ1 kimenet pillanatnyi értékére is. Próbáljuk meghatározni T2=42°C esetén az SZ1 kimenet értékét. Ez lehet „0”, de lehet „1” is attól függően, hogy éppen lehűlés vagy felfűtés történik.

Egy sorrendi hálózat pillanatnyi kimeneti kombinációjának meghatározásához ismernünk kell a pillanatnyi bemeneti kombinációt és a hálózatot korábban ért bemeneti kombinációkat, valamint azok sorrendjét. Ennek megvalósításához a sorrendi hálózatnak a kimeneti változókon túl elő kell állítani olyan másodlagos vagy **szekunder változókat**, amelyek a hálózat előéletét jellemzik. A sorrendi hálózat egy adott pillanatban a bemeneti kombináció és a szekunder kombináció együttes felhasználásával előállítja a következő szekunder kombinációt és a kimenetet. Ez a szekunder kombináció a hálózat „emlékezete”.

A szekunder változók pillanatnyi értékét a hálózat **állapotának** nevezzük. Ahhoz, hogy a szekunder változók értékei függjenek a megelőző értékektől is, vissza kell csatolni őket. Ezen a visszacsatoláson keresztül valósul meg a hálózat „emlékezete”.

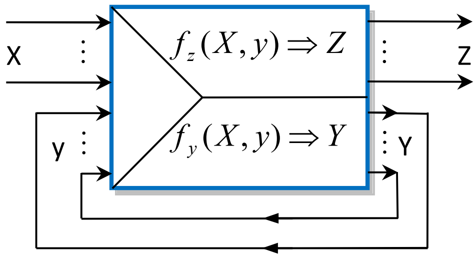
A sorrendi hálózat leírására tehát egy olyan kombinációs hálózatot kell használnunk, amelynek egy része a kimenetet (Z) állítja elő, egy másik része pedig az új állapotot (Y). A hálózat bemenetének a külső környezetből érkező részét X-el, a hálózat pillanatnyi állapotát jellemző szekunder változókat y-al jelöljük. A feladat bonyolultságától függ, hogy pontosan hány logikai változó szükséges a Z és az y ábrázolásához. Ha több változóra van szükség, akkor ezt a továbbiakban sorszámozott indexekkel fogjuk jelölni (pl.: y_1, y_2, y_3, Z_1, Z_2, stb.).

Általánosságban tehát a következő két leképezéssel írhatjuk le egy sorrendi hálózat működését.

$$f_z(X,y) \Rightarrow Z$$

$$f_y(X,y) \Rightarrow Y$$

Az f_z és az f_y tehát annyi logikai függvényt jelent, ahány változóra a feladat megoldásához szükségünk van. A bemenetet és kimenetek közötti kapcsolatot szemlélteti a következő ábra.



Sorrendi hálózat modellek

A kimeneti kombinációk előállítására kétféle módot is találunk a szakirodalomban. Az egyik esetben $f_z(X,y) \Rightarrow Z$ alakú leképezéssel állítjuk elő a kimeneteket. Ez azt jelenti, hogy a kimeneteket előállító logikai függvények algebrai alakjában szerepelnek az X-el jelölt bemeneti változók és az y-al jelölt szekunder változók is. Bármelyik megváltozása azonnal hatással lehet a kimenet értékére is. Az ilyen módon működő sorrendi hálózatokat **Mealy-modell** szerint működő sorrendi hálózatoknak nevezzük.

Egy másik megközelítés szerint $f'_z(y) \Rightarrow Z$ leképezés szerint is előállíthatjuk a kimeneteket. Ebben az esetben a kimeneteket megvalósító logikai függvények kizárólag az y bemenetek értékeit használják. Úgy tűnket, hogy az X bemenetek nincsenek hatással a Z alakulására, azonban nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy az X bemenet megváltozása hatással lesz az Y kimenetekre, melyek a visszacsatoláson keresztül visszaérkezve a hálózat y bemeneteire megváltoztatják a kimenetet. Az ilyen módon működő sorrendi hálózatokat **Moore-modell** szerint működő sorrendi hálózatoknak nevezzük.

Sorrendi hálózatok működési módjai

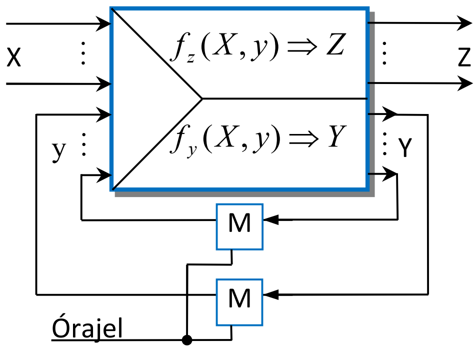
A sorrendi hálózatok bevezető részében láttuk, hogy a sorrendi hálózat „lelke” egy több bemenetű, több kimenetű kombinációs hálózat. A sorrendi működés a visszacsatoláson keresztül valósul meg. Ha megváltoztatjuk a hálózat X bemenetét, akkor ennek hatására a leképezések létrehoznak egy új Z és egy új Y értéket. Ez az új Y érték a visszacsatoláson keresztül visszajut a hálózat y jelű bemeneteire. Amennyiben ez az „új” y érték nem okoz további mozgásokat a hálózatban, akkor a hálózat **stabil** állapotba kerül. Ha ez az új y érték ismét más Y értéket hoz létre, akkor ezt az állapotot **instabil** állapotnak nevezzük. Ha egyáltalán nem alakul ki stabil állapot, akkor azt mondjuk, hogy a hálózat oszcillál.

Amennyiben a fenti ábrának megfelelően, a kombinációs hálózat kimeneteinek egy részét közvetlenül visszakötjük a hálózat bemenetére, úgy **aszinkron működésű** sorrendi hálózatot kapunk. Ahhoz, hogy a hálózat tervezhető legyen és az előírt módon működjön, néhány előírást kell tennünk. Ezek pontokba szedve a következők:

1. A sorrendi hálózat bemenetein kizárólag szomszédos bemeneti változásokat engedünk meg. Ha ugyanis egyszerre egynél több bemenet értéke változik meg, akkor az érzékelés sorrendjétől függően különböző lehet a hálózat viselkedése.
2. A következő bemeneti értéket csak azután adhatjuk rá a hálózat bemeneteire, miután a hálózat nyugalmi állapotba (stabil állapotba) került.

3. Ha valamely stabil állapotból indulva létezik olyan szomszédos bemeneti változás, amelyre a hálózat nem jut stabil állapotba (azaz oszcillál), akkor azt mondjuk, hogy a hálózat nem működhet aszinkron módon.
4. A leggyorsabb működésű akkor lehet az aszinkron sorrendi hálózatunk, ha a bármely stabil állapotból indulva, a bemeneti változások hatására legfeljebb egy instabil állapotot követően stabil állapotba kerül. Az ilyen hálózatokat **normál aszinkron hálózat**oknak nevezzük.

Amennyiben a sorrendi hálózat visszacsatoló ágaiba az alábbi ábrának megfelelő mintavevő és tartó elemeket (M) építjük be és ezeket egy periodikus órajellel működtetjük, úgy a hálózat működése ütemezetté változik. Ha ehhez megfelelően szinkronizáljuk a bemeneti változásokat is, akkor **szinkron működésű** sorrendi hálózatot kapunk.



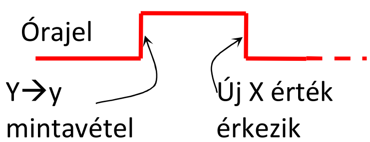
Szinkron sorrendi hálózatokban nem okoz gondot az előbb ismertetett oszcilláció, hiszen órajel ütemenként pontosan egy állapotátmenet megy végbe, így a változások sebességét nem a bizonytalan kapukésleltetések és jelterjedési késleltetések határozzák meg. Szinkron hálózatok tervezéséhez és működésének követéséhez azonban előre meg kell határoznunk az úgynevezett szinkronizációs feltételt, vagyis a hálózat és a környezet órajelhez viszonyított viselkedését. Az órajel egy periodikus négyszög jel, melynek 0→1 váltását felfutó-ének, 1→0 váltását lefutó-élnek nevezzük. Ezekhez a váltási pillanatokhoz igazítjuk a sorrendi hálózat működését. A továbbiakban szinkronizációs feltételként az alábbiakat írjuk elő.

1. Minden felfutó-él hatására az M jelű mintavevő és tartó elem átmásolja a bemenetén jelenlévő Y értéket és az y kimenetén őrzi azt a következő felfutó él pillanatáig. A két felfutó-él között a bemeneten bekövetkező bármilyen változás nincs hatással az M elem kimenetére.
2. Minden lefutó-él hatására új X értéket várunk a hálózat bemenetén. Ezt a külső környezetnek kell biztosítania.

A szinkronizációs feltétel betartása esetén egy **Mealy-modell** szerinti hálózat kimenete az **órajel mindkét élénél változhat**, hiszen mind a bemenet (X) megváltozása, mind az szekunder változók (y) megváltozása hatással lehet rá.

Szinkron **Moore-modell** szerint működő sorrendi hálózat kimenete csak az **órajel felfutó éleinél változhat**, hiszen ekkor kaphat y új értéket.

Ezt a szinkronizációs feltételt szemlélteti a következő ábra.



Sorrendi hálózatok működésének leírása

A sorrendi hálózatok működésének egyértelmű definiálásához szükséges az f_z és f_y leképezések pontos leírása. Az alábbiakban két gyakran használt leírási módot ismertetünk ezen leképezések megadására.

Állapottábla

Az állapottábla a kombinációs hálózatoknál megismert igazságtáblához nagyon hasonló szerkezetű táblázat formájában írja le az f_y és f_z leképezéseket. Az állapottábla oszlopait az X bemenet értékei szerint, míg a sorait az y értékek szerint különböztetjük meg. Az állapottábla minden cellája - vesszővel elválasztva - két értéket tartalmaz, az első a következő állapotot (Y), a második pedig a kimenet (Z) pillanatnyi értékét adja meg. Természetesen egy megvalósított sorrendi hálózatban minden állapothoz a szekunder változók egy-egy konkrét bináris kombinációja tartozik, azonban a hálózat elméleti tárgyalásakor az állapotok azonosítására elegendő csak megkülönböztethető szimbólumokat használni. Erre a célra az abc kis és nagybetűit szokták használni. Amennyiben az állapottáblában az állapotokat a hozzájuk rendelt bináris kódok megadásával írjuk le, akkor kódolt állapottábláról beszélünk.

A következő példa egy két bemenetű, egy kimenetű sorrendi hálózat állapottábláját mutatja. Érdemes végig nézni a tábla bejegyzéseit és a bevezetőben említett fogalmakat értelmezni ezen a konkrét állapottáblán.

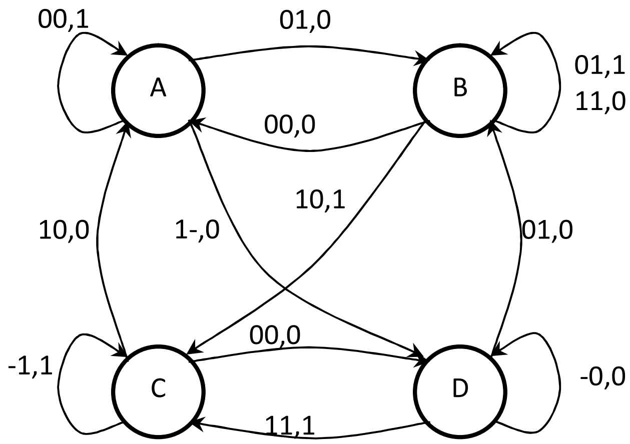
X_1X_0 / **y**	**00** Y,Z	**01**	**11**	**10**
A	**A,1**	B,0	D,0	D,0
B	A,0	**B,1**	**B,0**	C,1
C	D,1	**C,1**	**C,1**	A,0
D	**D,0**	B,0	C,1	**D,0**

A fenti táblát megvizsgálva a következő megállapításokat tehetjük:

1. A hálózat Mealy modell szerint működik, mert Z=f(X,y). A Z kimenet előállításához szükséges az y és az X bemenet ismerete is.
2. A hálózat működhet aszinkron módon is, mert bármely stabil állapotból indulva, szomszédos bemeneti változás hatására stabil állapotba jut. (A stabil állapotokat a táblázatban vastagon szedett betűkkel jeleztük.)
3. A hálózat nem normál aszinkron működésű. Például az B állapot/11→10 oszlop váltásakor három instabil állapoton keresztül jut el a hálózat a D állapotba.

Állapotgráf

A sorrendi hálózat leírásának rajzos formája az állapotgráf. Az egyes állapotoknak köröket feleltetünk meg, az egyes bemeneti kombinációkhoz tartozó állapotváltozásokat a körök közé húzott irányított nyilakkal, vagy hurokkal jelöljük. A nyilakra ráírjuk az átmenethez tartozó bemeneti kombinációt (X) és a kimenet aktuális értékét (Z). Az állapotgráf és az állapottábla egymásnak megfeleltethető, bármelyikből kiindulva a másik előállítható. Példaként az előző pontban megadott állapottáblához rajzoltuk fel az állapotgráfot.



Megjegyezzük, hogy ahogy azt az előzőekben megállapítottuk a hálózat Mealy-modell szerint működik, ezért a gráfon minden bemeneti kombináció mellett, vesszővel elválasztva feltüntettük a kimenet értékét is. Ha Moore-modell szerinti hálózat állapotgráfját rajzoljuk, ott elegendő az állapotokat jelző körök belsejében megadni a kimenet értékét.