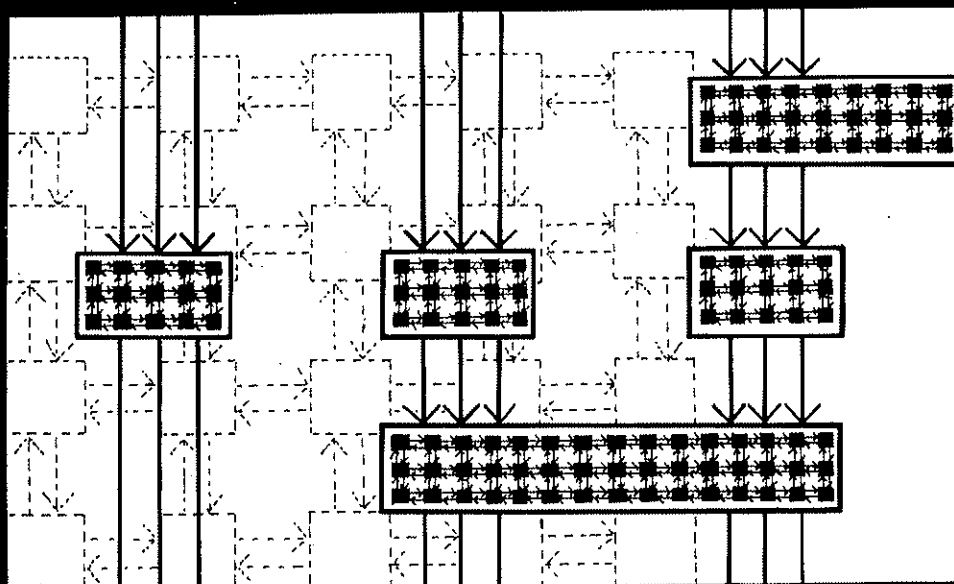


PARHUZAMOS SZÁMITÁSI RENDSZEREK



NJSzT

PROGRAMOZÁSI RENDSZEREK

MTA SzTAKI

SZAKOSZTÁLY

Szerkeszti: Legendi Tamás

79/3

Lokális-szinkron sejtterek

Ipke Wachsmuth

Hannover

Bevezetés

A szinkron sejtautomaták vagy sejtterek koncepciója már régóta megtámadható azon kifogás alapján, hogy a végtelen sok sejt elfogadott globális ütemezése összeegyeztethetetlen lenne a relativitáselmélet elemi premisszáival /az információ terjedési sebességének felső határa, mint a fénysebesség, vagy mint két egymástól tetszőleges távolságra lévő óra együtt futásának képtelensége/. Így jutottunk el az aszinkron sejtterek tételeihez - a szinkron/aszinkron vita ennek a kutatási területnek központi témájává vált. A sejtautomaták megvalósításában nagyon lényeges a fenti ellenvetés: itt ugyanis mindig csak véges, mégis az idő fölé növő sejtmenyiség kerül elhelyezésre, így azután legyőzhetetlen szinkronizációs nehézségek keletkezhetnek.

Ezek a nehézségek nem lépnek fel az aszinkron sejtterekre vonatkozó megfontolásoknál. Számításba kell azonban venni, hogy az egy lépésben végrehajtott sejtállapotátmeneteket - szinkron esetben számos lehetséges - bizonyos körülmények között lépsenként egy állapotátmenetre redukálják /Priese 1974/ ebben az esetben párhuzamos számító automatakonceptió helyett sorokat kapunk/. Egyébként további sejtállapotokat /Nakamura 1974/, vagy egy pótlólagos dimenziót kell bevezetni /Golze 1977/.

Minden esetben már kezdettől fogva nő a felhasznált sejtek száma, a számítási lépések vagy a szükséges sejtállapotok száma.

Olyan módszer keresésén fáradozunk, amely "olcsóbb" és megvalósításra különösen alkalmas: egy középutas "globális-aszinkron, lokális-szinkron" párhuzamos koncepciót fejlesztünk ki, amely megkerülné a már ismert nehézségeket és alkalmas interpretáció esetén ugyanazt végzi /annyit teljesít/ mint a hagyományos globális-szinkron koncepció.

Kiindulás maga az automataszerkezet: A sejtek egyszerű pótlólagos intézkedésével a szomszédos sejtek "lokális ütemezése" jön létre, amely - jóllehet globálisan hamis ütemben - a sejt-automatát mint globálisan ütemezett, tehát szinkron automatát működteti. Számítási lépésekként, amint szokásos, a kívülről beadott ütemimpulzusokat számláljuk, amelyek, akárcsak a szinkron koncepció esetében, mindig végtelen sok sejtállapot-átmenetnek felelnek meg.

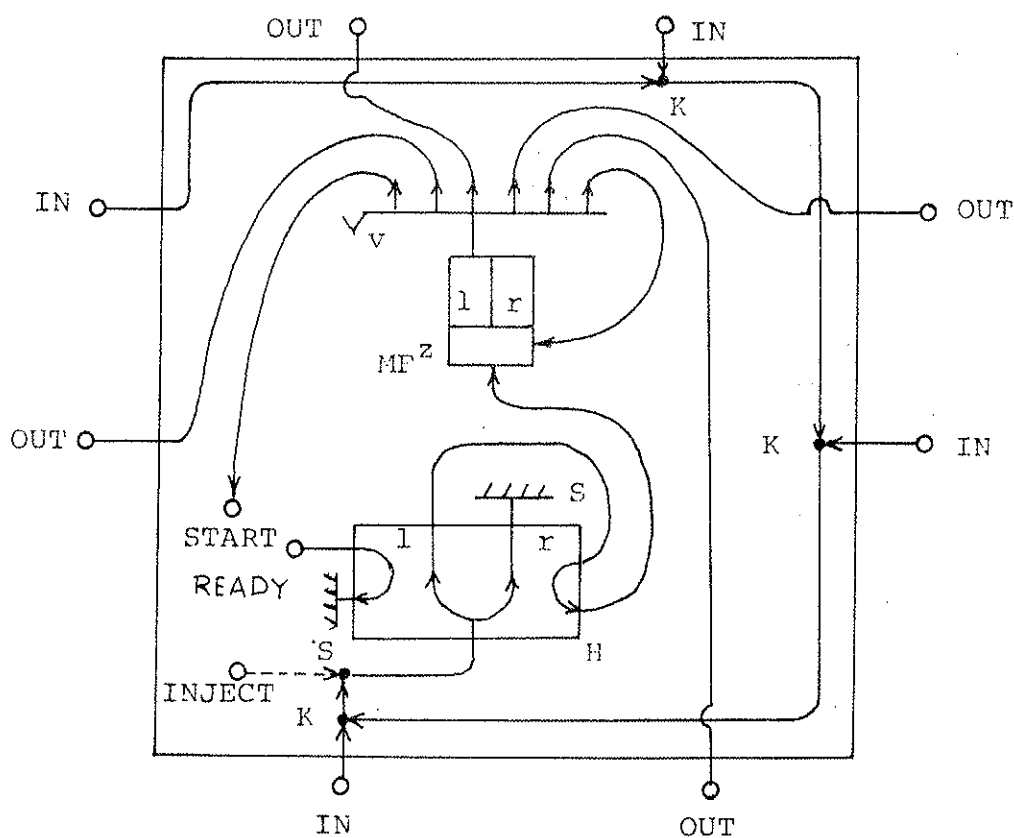
Igy a sejtautomaták alapvető tulajdonságukat a nagymértékű párhuzamos számítást minden ellenvetőst kizárva megtartják.

Eredmények

A kétdimenziós, Neumann-szomszédságu sejtterekre szorítókunk; ismert, hogy erre az esetre a többi visszavezethető. Ennek a típusnak minden tetrazólos szinkron sejtterét a következőkben bemutatott eredmények alapján /globális/ aszinkron sejtterrel helyettesíthetjük - "ugyanazon teljesítmény mellett" /ezt később még pontosítjuk/.

Vegyük alapul a következő elvet: Vizsgáljuk az euklédészi síkban az automatasejteket a szokásos homogenitási követelményeknek megfelelően. Az ütemimpulzusok szétosztása az egyes sejtekhez egy külön séma alapján történik. Jelöljük a szokásos értelemben az egy sejttel azonosított véges automatát /lásd Arbib 1969 375.o./ mint "felső felépítést" /2. ábra/, ekkor a már említett ütemelosztás egy kiegészítő "alsó felépítés" segítségével éri el az egyes sejteket /1. ábra/. A működési módot csak vázoljuk.

A sejt "alsó felépítése"

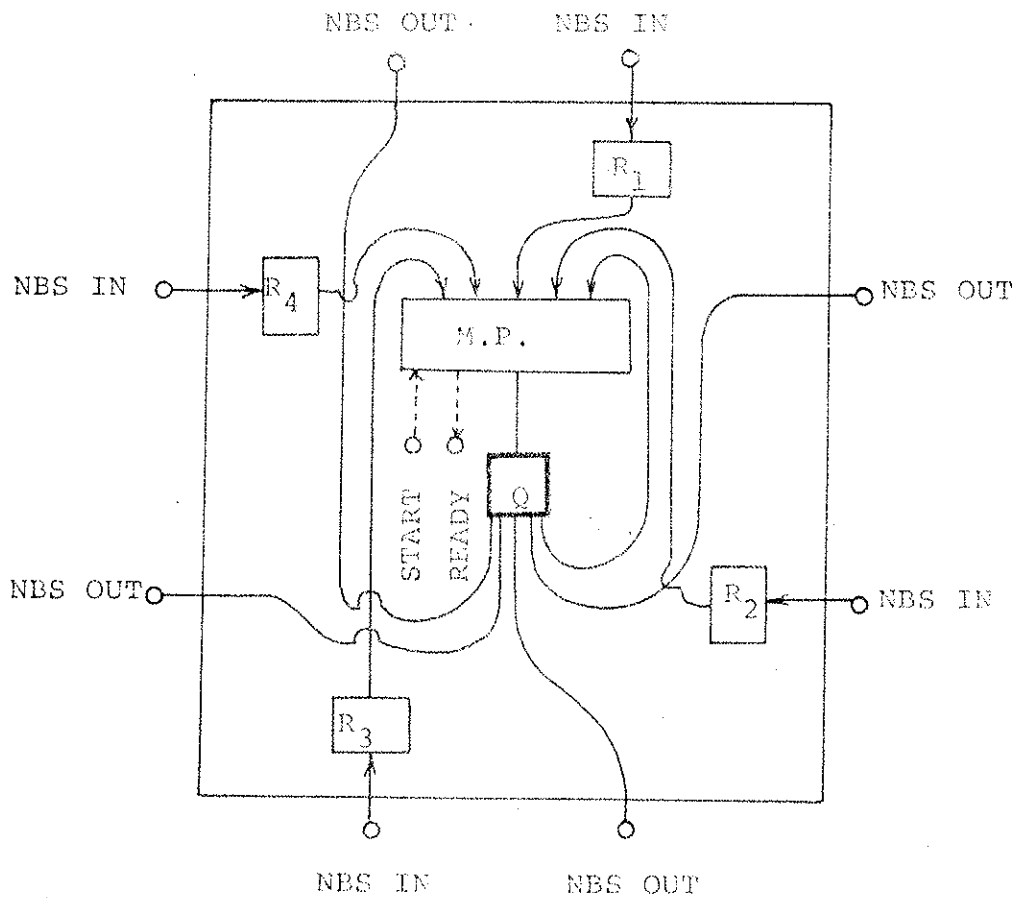


- K CSOMÓPONTOK
- H KITÉRŐ
- S NEGATIV FORRÁS /NYELŐ/
- MF^Z MONOFLOP
- Vv SOKSZORÓZÓ

1. ábra

A sejt alsó felépítésében az egy vagy több IN-vezetéken beérkező impulzus hatására, bizonyos v késleltetési idő $(0 < v_{\min} \leq v \leq v_{\max} < \infty)$ után minden OUT-vezetéken kimegy egy impulzus és ezzel egyidejűleg a felső felépítésben a START-impulzus elindítja a következő állapot kiszámítását. Ezt a pillanatot a sejt ütem időpontjának nevezzük. Csak ezen számítási folyamat befejezése után, ami $(0 < s_{\min} \leq s \leq s_{\max} < \infty)$ időt vesz igénybe, helyezzi egy READY-impulzus a sejt alsó felépítését a kitérő /vissza/állításával abba a helyzetbe, hogy ismét impulzusokat tudjon felvenni.

A sejt "felső felépítése"



Sejtállapot = /Q/ tartalom

2. ábra

A felső felépítés egy START-impulzus hatására a szomszédsági információt olvassa be, ezután a következő állapotot számolja ki. Feltételezzük, hogy a sejt utolsó állapotát egy megfelelő regiszteren a szomszédok addig kérdezhetik, amíg $/s$ számítási idő után/ a következő állapot ebbe a regiszterbe beiródik. Az $s_{\min} > v_{\max}$ követelménnyel a lokális helyettesítések teljes kivitelezését biztosítottuk.

Vizsgáljunk egy olyan sejtautomatát, amelynek sejtjei a fent leírt módon épülnek fel. Egy kitüntetett sejten, pl. őssejten az ütemimpulzusokat kívülről adjuk be; erre szolgál a speciális INJECT-bemenet /lásd 1. ábra/. A szétosztást a sejtter többi sejtjéhez a sejt alsó felépítésével kell végrehajtani.

Két szomszédos sejt lokális-szinkron módon működik akkor, ha a két sejt egyetlen, egy adott /ős-/ütemből eredő ütemidő-pontja legfeljebb v_{\max} -szal különbözik.

Egy, az őssejtbe beadott ütemimpulzus a sejt alsó felépítésének hatására a tér minden oldala felé terjed; emellett a sejteknél különböző késleltetések léphetnek fel v_{\min} és v_{\max} között. Egy ilyen "ütemfront" t időpontba való lefutása lokalizált a $t.v_{\min}$ és $t.v_{\max}$ -ból adódó határon belül. Az s számítási időtartamig az éppen működő sejt nem vehet fel további ütemimpulzusokat, úgy hogy az $s_{\min} > v_{\max}$ követelmény miatt az ütemimpulzusok "visszaadása" nem következhet be. A 3. ábrán egy tényleges ütemelosztást mutatunk be.

0 ① 1	1 ① 2	2 ① 3	3 ① 4	4 ① 5	5 ① 6
1 ① 2	2 ③ 5	3 ③ 6	4 ① 5	5 ① 6	
2 ① 3	3 ③ 6	6 ③ 9	5 ① 6		
3 ① 4	4 ① 5	5 ① 6			
4 ① 5	5 ① 6				
5 ① 6					

3. ábra

A számok a következő mennyiségekre vonatkoznak:

t	időpont, amelyben a sejt megkapja az ütemet
① v	effektive fellépő késleltetés
f	a sejt ütemidőpontja

/Itt tehát $v_{\min} \leq 1$ és $v_{\max} \geq 3$./

Azt vizsgáljuk, hogy a sejttér sejtjeinek bemutatott alsó felépítése valóban a kívánt módon osztja-e el az őssejtbe beadott ütemimpulzusokat. Először egyetlen ütemimpulzus beadását vizsgáljuk.

Tétel

Egy ütemimpulzus beadásánál a /kétdimenziós/ sejttér sejtjének alsó felépítése az adott hálómű segítségével a következőképpen hajtja végre az impulzusok szétosztását:

- a/ A tér minden sejtjéhez van egy olyan /globális/ t időpont, amihez a sejt egy ütemimpulzust kap.
- b/ Egy sejt csak egy ütemimpulzust kaphat.
- c/ A szomszédos sejtek lokális szinkron módon működnek.

Bizonyítás lényege

/a/ Egy sejt legkésőbb a globális $d \cdot v_{\max}$ időpontban kap egy ütemimpulzust, ahol d a kitüntetett sejttől /az összegképzés által definiált/ távolság.

/c/ Két olyan szomszédos sejtől, amely még nem kapott egyetlen impulzust sem, az amelyik előbb kap ütemimpulzust, az legkésőbb v_{\max} idő után impulzust ad a másiknak, feltéve, hogy ez a sejt eddig más sejttől nem kapott impulzust. Az ütemidőpontok legfeljebb v_{\max} -szal különböznek egymástól.

/b/ Megmutatjuk, hogy minden t -re van a sejteknek olyan F_t halmaza, amelyek t időpontig legalább egy impulzust kaptak, és ez megegyezik azon sejtek G_t halmazával, amelyek t időtartamig pontosan egy impulzust kaptak. A sejt alsó felépítésére a következő érvelésben három állapotot különböztetünk meg:

O, ha a H kitérő az 1 állásban van

T, ha H r állásban van és M_f még nem kapcsolt

R, ha H r állásban van és M_f kapcsolt

Az állapotok csak a következő sorrendben léphetnek fel:

$O \rightarrow T \rightarrow R \rightarrow O$. A t idő szerinti indukcióval /diszkrét megfigyelési időpontokat bevezetve/ bizonyítható a következő

Lemma

Bármely t -re igaz, hogy ha egy sejt T állapotban van, akkor nincs olyan szomszédja, amely F_t -hez tartozik és O állapotban van.

Legyen egy β sejt a T állapotban. A /c/ állítás alapján a szomszédos sejtek lokális szinkron módon működnek, β -nak az F_t -hez tartozó valamelyik szomszédja legkésőbb v_{\max} előtt T-ben volt. A szomszédos sejt t időpontban vagy T-ben van, ha nem, akkor $s_{\min} > v_{\max}$ alapján még R-ben van.

Következtetés: T állapotban lévő sejteknek csak azon szomszédjai mehetnek át T-be, amelyeknek állapota O. Ez tehát az F_t -ben lévő sejtek esetében a lemma szerint nem így van. Tehát $F_t = G_t$.

Az ütemezés vizsgálata

A szinkron elv alkalmazásakor s_{\max} -nál nagyobb idő elteltével egy ütem beadása után további ütemek adhatók be: Legkésőbb ekkorra ugyanis a tér minden sejtje a következő állapotba ment át. Az itt bemutatott elv alapján $v_{\max} + s_{\max}$ idő elteltével a kitüntetett sejt bizonyosan felveszi a következő állapotot, így lehetséges a további ütemek beadása. Kiindulhatunk abból, hogy sejtenként specifikált $v \in [v_{\min}, v_{\max}]$ késleltetési idők az időben nem változnak, így minden következő, a kitüntetett sejtbe beadott ütem hatására az egyes sejteken az ütem-impulzusoknak ugyanolyan sorrendű eloszlása valósul meg. Minden sejt alsó felépítését önmagában vizsgálva azt mondhatjuk, hogy a \mathcal{T} "ütemeloszlástér" időben állandó. Ebben az esetben a különböző impulzusok ellentétes hatása kizárt, ezért a kitüntetett sejtbe beadott minden olyan impulzussorozat esetén, ahol az impulzusok d távolsága nagyobb $v_{\max} + s_{\max}$ -nál, az egyes impulzusokra a kívánt lokális ütemezést kapjuk. Ha megengedjük, hogy a \mathcal{T} ütemeloszlástér időben változzék, vagyis egy

impulzussorozat összes impulzusára ne feltétlen ugyanaz a késleltetési idő lépjen fel az egyes sejteken, egészen más a helyzet: Ha feltesszük, hogy egy T_0 kezdőimpulzus hatására minden sejten a v_{\max} késleltetés lép fel, egy további T_1 hatására v_{\min} , akkor a T_1 ütemfrontját a T_0 frontja valamikor utoléri. Ennek azonban nem szabad megtörténnie: a két front között legalább egy olyan d_{\min} minimális távolságnak kell lenni, amely a sejt s_{\max} maximális számolási idejének és a v_{\max} maximális késleltetési időnek az összege, különben az ütemimpulzusok elveszhetnének. További lokális kikötésekkel el kell érni, hogy két egymás utáni ütem időbeli távolsága egyetlen sejtben se legyen d_{\min} -nél kisebb. A sok elképzelhető lehetőség közül kettőt vázolunk.

- 1/ Feltesszük, hogy a késleltetés-idők ingadozásai egy bizonyos véges korláton belül maradnak. Így az egymásutáni ütemek nem zavarhatják egymás hatását, ha a kitüntetett sejtbe elegendően nagy időbeli eltérésekkel adjuk be az ütemeket.
- 2/ Bizonyos feltételek esetén egy lokális szabályozási folyamattal elérhető, hogy az egymásutáni ütemek közeledése a minimális távolságon kívül maradjon, még ha nem is teszünk az 1/-hez hasonló kikötéseket. Ezért az ütemidőpontban minden sejten egy küszöbfüggvény indukálódik /ehhez kell Mf^Z mellék-bemenete /lásd 1. ábra/, amely az ütemidőpont után bizonyos ideig pozitív értékű, azután pedig eltűnik. A következő ütem beérkezésekor regisztrált küszöbérték alapján az ütemek sűrűsége bizonyos korlátok között meghatározható, és egy pótlólagos késleltetés érhető el /az Mf^Z kapcsolási idejének bizonyos korlátok közti változtatásával/.

Ebben az esetben az ütemek beadásának távolsága $s_{\max} + v_{\max} + \xi$ ($\xi < v_{\min}$)-ra szorítható le /szinkron esetben s_{\max} -ra/. Hogy ez az elv általánosan alkalmazható-e, a jelenleg is folyó vizsgálatok alapján dől el.

Diszkusszió

A Nakamura /1974/, Priese /1974/ és Golze /1977/ irodalomtól eltérően a sejtteret mint "szimultán helyettesítési kalkulust" tekintettük, és megadtunk ehhez egy általánosított automatafogalmat, melynek segítségével a szimultán kalkulussal szembeni előítéletek eloszlathatók.

Az új, alsó felépítéssel ellátott automataháló a követő konfiguráció kiszámítását nem egycsapásra, hanem szukcessziven, belülről kifelé végzi, de egy további követő konfiguráció kiszámítása már rövid ($s_{\max} + v_{\max} + \xi$) idővel az előző után elkezdhető.

Igy maximális ütemszűrűséget kapunk, amely nem marad sokkal a megfelelő globálisan szinkronizált sejttereké alatt. Az egyes globális átmenetek szukcessziv végrehajtása nincs hatással a lokális információ-feldolgozásra. Röviden azt mondhatjuk, hogy a megfelelő /vagyis ugyanazzal a formális leirással adott kalkulust kiszámoló/ szinkron sejttérrel azonos számítási folyamatokat végzünk. Ebben az értelemben azt mondhatjuk, hogy az itt kifejtett lokális-szinkron elv ugyanazt nyújtja, mint az eredeti globális szinkron elv.

Mindenesetre szükséges, hogy lemondjunk a konfigurációk "szinkron képéről". Az ütem rögzítésével a konfiguráció képének egy szinkron metszetét kaphatjuk, például legfeljebb $\frac{n}{2} \cdot v_{\max} + s_{\max}$

idő elteltével ez a metszet a kitüntetett sejtre szimmetrikus, n szélességű rombusz lesz.

Végezetül megemlítjük, hogy a kétdimenziós sejtterekre való korlátozódás nem lényeges; háromdimenziós, Neumann-szomszédságu sejtterekre elegendő az 1. ábrán megadott alsó felépítést két k -építőelemmel és a Vv impulzus-szokszorozó megfelelő kimeneteivel kibővíteni. Hasonlóan általánosíthatunk más szomszédságok esetén.

Irodalom

Arbib, M.A.: Theories of Abstract Automata /Prentice Hall
1969/.

Golze, U.: Lokális és globális szinkronizáció /1977/ ugyanebben a kötetben.

Nakamura, K.: Asynchronous Cellular Automata and Their Computational Ability, Systems. Computers. Controls, Vol. 5, No. 5 /1974/.

Priese, L.: Egyszerű eldönthetetlen problémák: Kiszámíthatóságra és konstrukcióra univerzális aszinkron sejtterek Disszertáció /Münster, 1974/.