

# Domácí úkol č.1 – Hradlové sítě (v. 1.1)

(termín odevzdání 19.12.2008 23:59 CET – odevzdání pouze přes SIS)

## Upozornění!

Domácí úkol je samostatná práce, jejímž cílem je zhodnotit schopnost studenta samostatně vypracovat složitější program v jazyce C#. Pokud bude zjištěno, že několik studentů odevzdalo různé instance stejného řešení domácího úkolu, bude to považováno za pokus o podvod. Všichni takoví studenti nezískají zápočet, případně bude disciplinární komisi UK MFF doporučeno jejich vyloučení ze studia!

## Odevzdání řešení

Program odevzdávejte ve formě jednoho zdrojového souboru (s příponou .cs) přes grupík v SISu - sloupeček DU1. Program by měl být přeložitelný překladačem jazyka C# z Visual Studia 2008 a neměl by používat žádné nestandardní knihovny (které nejsou obsaženy v .NETu 3.5).

## Zadání

Vytvořte program, který ze vstupního souboru načte hradlovou síť a provede její vyhodnocení. Hradlová síť se skládá ze základních a/nebo složených logických hradel, jejichž vstupy a výstupy mohou být propojeny.

Hradlová síť i každé hradlo může mít libovolný počet vstupů a výstupů (podrobněji viz níže). Složená hradla jsou složena z propojených základních a/nebo jiných složených hradel. Hradla obsažená v hradlové síti (resp. složeném hradle) mohou mít:

- vstupy připojené na výstup jiného hradla nebo na vstup hradlové sítě (resp. složeného hradla)
- výstupy připojené na vstup jiného hradla nebo na výstup hradlové sítě (resp. složeného hradla).

Na vstupech/výstupech hradla/hradlové sítě se může objevit jedna z následujících hodnot:

- 0 (logická nula),
- 1 (logická jedna),
- ? (nedefinovaná hodnota),

tj. hradla počítají v třístavové logice.

Celá hradlová síť pracuje v taktech – před prvním taktem jsou definovány pouze hodnoty na vstupech hradlové sítě (+ výjimky viz dále). Pokud v nějaké taktu dojde ke změně nějakého ze vstupů základního hradla, tak se případná nová hodnota na jeho výstupech (vyplývající ze změny vstupu) objeví až v následujícím taktu, tj. doba výpočtu každého základního hradla je právě 1 takt. Složená hradla mohou počítat ve více taktech v závislosti na jejich vnitřní struktuře, tj. nejdelší cestě z jeho vstupů do jeho výstupů.

Výsledkem hradlové sítě jsou hodnoty na jejích výstupech po jejím ustálení, tj. když je na výstupu každého základního hradla v ní (nebo rekurzivně v jejích složených hradlech) hodnota odpovídající (dle přechodové funkce) hodnotám na jeho vstupech. Počet taktů po kterých dojde k ustálení sítě se je dobou výpočtu hradlové sítě. Pokud jsou mezi hradly v hradlové síti cykly, tak může dojít k zacyklení hradlové sítě, tj. nikdy nedojde k jejímu ustálení. Pro detekci zacyklení hradlové sítě bude program používat časové omezení – pokud se hradlová síť neustálí po 1000000 (jeden milion) taktů, tak jsou za výsledek hradlové sítě považovány hodnoty na jejích výstupech po provedení 1000000 (jednoho milionu) taktů. Hradlová síť se může ustálit i ve stavu, kdy na nějakém jejím výstupu je nedefinovaná hodnota (?).

Vstupní soubor hradlové sítě obsahuje 3 druhy bloků:

- definice základních hradel pomocí jejich přechodových funkcí,
- definice složených hradel,
- definici vlastní hradlové sítě.

V každém vstupním souboru musí být definováno alespoň jedno základní hradlo a právě jedna hradlová síť (nemusí obsahovat definice složených hradel, pokud se v hradlové síti žádné nepoužívají). Ve vstupním souboru mohou být definována i hradla (jak základní, tak složená), která nejsou použita ani jako součást některého ze složených hradel, ani nejsou použita v hradlové síti.

Jednotlivá hradla, jejich součásti (vstupy a výstupy) i jejich instance v jiných hradlech a hradlové síti a ostatní součásti hradlové sítě jsou pojmenovány. Jméno takového prvku je libovolná posloupnost znaků, která nesmí:

- a) obsahovat bílé znaky (mezera, tabulátor, new line, line feed, atd.)
- b) obsahovat znak tečka .
- c) obsahovat znak středník ;
- d) obsahovat posloupnost znaků pomlčka a větší ->
- e) začínat slovem end

Jména prvků i klíčová slova vstupního souboru jsou case sensitive, tj. AND a and jsou dva rozdílné identifikátory.

Jednotlivé bloky nebo řádky v blocích mohou být ve vstupním souboru odděleny libovolným počtem:

- a) prázdných řádků
- b) řádků obsahujících pouze bílé znaky
- c) řádků začínajících znakem středník (;) – lze použít jako komentář

Každý řádek odpovídající bodů a, b, c se ignoruje.

Pokud se řádek nějakého bloku skládá z více složek, tak jsou tyto složky odděleny právě jednou mezerou.

## Blok definice základních hradel

```
gate jméno_hradla
inputs x1 x2 ... xN
outputs y1 y2 ... yM
definice_přechodové_fce
end
```

Definuje základní hradlo (nový typ hradla) s N vstupy a M výstupy. Hradlo může mít 0 vstupů ( $N \geq 0$ ) (i takový blok obsahuje řádek inputs, ale slovo inputs je hned následováno koncem řádku), ale musí mít alespoň jeden výstup ( $M \geq 1$ ).

Každý řádek přechodové funkce definuje hodnotu všech výstupů hradla v závislosti na jedné kombinaci všech vstupů hradla. Na řádku jsou nejprve hodnoty všech vstupů (v pořadí definovaném na řádku inputs) následované hodnotami všech výstupů (v pořadí podle outputs).

Pokud pro nějakou kombinaci vstupů není přechodová funkce explicitně definována, tak se použije následující implicitní definice:

- a) pro kombinaci vstupů, kde ani jeden nenabývá hodnoty ?, je hodnota všech výstupů definována jako 0
- b) pro kombinaci vstupů, kde alespoň jeden nabývá hodnoty ?, je hodnota všech výstupů definována jako ?

Explicitní definice přechodové funkce může být prázdná, tj. za řádkem outputs následuje řádek end – potom se na hradlo aplikuje pouze implicitní chování přechodové funkce.

V počátečním stavu, tj. před prvním taktem sítě mají všechny výstupy všech hradel následující hodnoty:

- a) pokud  $N=0$  (hradlo s 0 vstupy), hodnoty definované přechodovou funkcí
- b) pokud  $N \geq 1$ , nedefinovanou hodnotu (?)

V každé hradlové síti jsou implicitně definována dvě hradla bez vstupů a s jedním výstupem:

- 1) hradlo 0 – na jeho výstupu je vždy hodnota 0
- 2) hradlo 1 – na jeho výstupu je vždy hodnota 1

Př.:

Hradlo pojmenované `and`, se dvěma vstupy `i1` a `i2` a jedním výstupem `o` a přechodovou funkcí definovanou podle logického součinu:

```
gate and
inputs i1 i2
outputs o
1 1 1
end
```

nebo

```
gate and
inputs i1 i2
outputs o
1 1 1
0 1 0
1 0 0
end
```

atd.

## Blok definice složených hradel

```
composite jméno_hradla
inputs x1 x2 ... xN
outputs y1 y2 ... yM
gate jméno_instance_hradla jméno_typu_hradla
...
gate jméno_instance_hradla jméno_typu_hradla
definice_propojení_mezi_vnitřními_hradly
end
```

Definuje složené hradlo (nový typ hradla) s  $N$  vstupy a  $M$  výstupy. Hradlo může mít 0 vstupů ( $N \geq 0$ ) (i takový blok obsahuje řádek `inputs`, ale slovo `inputs` je hned následováno koncem řádku), ale musí mít alespoň jeden výstup ( $M \geq 1$ ).

Řádky začínající klíčovým slovem `gate` obsahují definici instancí hradel obsažených ve složeném hradlu – složené hradlo se může skládat ze základních i složených hradel. Jméno instance nějakého vnořeného hradla může být stejné jako vlastní jméno tohoto hradla (jeho typu). Každé složené hradlo musí obsahovat alespoň jedno vnořené hradlo.

Každý řádek v definici propojení definuje jedno spojení mezi dvěma místy ve složeném hradle. Definice propojení má jednu z následujících forem:

- `ga.ix->gb.oy`  
definuje propojení vstupu `ix` na instanci `ga` vnořeného hradla na výstup `oy` na instanci `gb` vnořeného hradla
- `ga.ix->iy`  
definuje propojení vstupu `ix` na instanci `ga` vnořeného hradla na vstup `iy` tohoto složeného hradla
- `ox->ga.oy`  
definuje propojení výstupu `ox` tohoto složeného hradla na výstup `oy` na instanci `ga` vnořeného hradla

Jeden vstup složeného hradla může být připojen na vstup více vnořených hradel. Vstup složeného hradla nemusí být připojený na žádné vnořené hradlo, tj. hodnota výstupů složeného hradla pak na hodnotě takového vstupu nezávisí.

Na každý výstup složeného hradla musí být připojený právě jeden výstup nějakého vnořeného hradla.

Pokud vstup nějakého z vnořených hradel zůstane nezapojený, tak je na něm konstantní nedefinovaná hodnota (?).

## Blok definice vlastní hradlové sítě

```
network
inputs x1 x2 ... xN
outputs y1 y2 ... yM
gate jméno_instance_hradla jméno_typu_hradla
...
gate jméno_instance_hradla jméno_typu_hradla
definice_propojení_mezi_vnitřními_hradly
end
```

Definuje hradlovou síť s  $N$  vstupy a  $M$  výstupy. Hradlová síť musí mít alespoň jeden vstup ( $N \geq 1$ ) a alespoň jeden výstup ( $M \geq 1$ ).

Řádky začínající klíčovým slovem `gate` obsahují definici instancí hradel obsažených v hradlové síti – hradlová síť se může skládat ze základních i složených hradel. Jméno instance nějakého vnořeného hradla může být stejné jako vlastní jméno tohoto hradla (jeho typu). Každá hradlová síť musí obsahovat alespoň jedno vnořené hradlo. Každý řádek v definici propojení definuje jedno spojení mezi dvěma místy v hradlové síti. Definice propojení má jednu z následujících forem:

- d) `ga.ix->gb.oy`  
definuje propojení vstupu `ix` na instanci `ga` vnořeného hradla na výstup `oy` na instanci `gb` vnořeného hradla
- e) `ga.ix->iy`  
definuje propojení vstupu `ix` na instanci `ga` vnořeného hradla na vstup `iy` hradlové sítě
- f) `ox->ga.oy`  
definuje propojení výstupu `ox` hradlové sítě na výstup `oy` na instanci `ga` vnořeného hradla

Jeden vstup hradlové sítě může být připojen na vstup více vnořených hradel. Každý vstup hradlové sítě musí být připojený na alespoň jedno vnořené hradlo.

Na každý výstup hradlové sítě musí být připojený právě jeden výstup nějakého vnořeného hradla.

Pokud vstup nějakého z vnořených hradel zůstane nezapojený, tak je na něm konstantní nedefinovaná hodnota (?).

## Použití programu

Program se spouští vždy s právě jedním parametrem na příkazové řádce – ten definuje jméno souboru s definicí hradlové sítě (viz předchozí částí zadání).

Pokud se povede v pořádku načíst celý obsah definičního souboru, tak program čeká na standardním vstupu na příkazy uživatele.

Každý příkaz je na zvláštním řádku – je to seznam jedniček a nul (oddělených jednou mezerou), které definují hodnoty na vstupech hradlové sítě (v pořadí v jakém jsou vstupy uvedeny v bloku definice hradlové sítě).

Odpovědi na každý příkaz uživatele je jeden řádek na standardním výstupu programu – doba výpočtu hradlové sítě (v taktech), jedna mezera a výsledné hodnoty všech výstupů hradlové sítě (opět v pořadí definice výstupů ve vstupním souboru). Příkazem `end` nebo ukončením standardního vstupu se program ukončí.

Před provedením prvního příkazu je hradlová síť v počátečním stavu, při provádění dalších příkazů začíná výpočet hradlové sítě ve stavu po posledním příkazu (tj. na výstupech základních hradel již nejsou nedefinované hodnoty, ale hodnoty po ustálení hradlové sítě na předchozím vstupu).

Např. pro vstupní soubor hradlova\_sit.txt:

```
gate and
inputs i0 i1
outputs o
1 1 1
end

gate or
inputs i0 i1
outputs o
1 0 1
0 1 1
1 1 1
end

gate not
inputs i

outputs o
0 1
end

composite nand
inputs i0 i1
outputs o
gate a and
gate n not
a.i0->i0
a.i1->i1
n.i->a.o
o->n.o
end

network

inputs a b
outputs a&b a|b !a&b
gate a1 and
gate o1 or
gate n1 nand
a1.i0->a
a1.i1->b
o1.i0->a
o1.i1->b
n1.i0->a
n1.i1->b
a&b->a1.o
a|b->o1.o
!a&b->n1.o
end
```

a spuštění programu program.exe hradlova\_sit.txt lze na standardní vstup zapsat následující příkazy (text napsaný tučně označuje standardní vstup; text kurzívou je výstup programu na standardním výstupu):

```
1 0
2 0 1 1
1 1
2 1 1 0
end
```

Program by měl ošetřovat všechny možné chybné vstupy a za žádných okolností by neměl spadnout. Pokud je příkaz na standardním vstupu ve špatném formátu, tak program na standardní výstup vypíše následující řádek a čeká na další příkaz:

Syntax error.

Pokud je chyba ve vstupním souboru hradlové sítě, tak program na standardní výstup vypíše jeden z následujících řádků a skončí (nebude přijímat žádné příkazy od uživatele) – N označuje číslo řádky ve vstupním souboru na které došlo k chybě, řádky jsou číslovány od 1:

- a) Line N: Duplicate.  
Při opakování některé kombinace vstupů v definici přechodové funkce u základního hradla, definice již definovaného typu hradla nebo instance, jména vstupu nebo výstupu nebo definice propojení u složeného hradla nebo hradlové sítě.
- b) Line N: Missing keyword.  
Pokud v programu chybí nějaká povinná část, např. inputs nebo outputs.
- c) Line N: Binding rule broken.  
Pokud je chyba v propojovacím pravidle, např. propojení vstupu jednoho hradla na vstup jiného, apod. Vznikne též na příkaze end, pokud nebyla dodržena pravidla pro tvorbu hradlové sítě nebo složeného hradla (např. nepřipojený výstup).
- d) Line N: Syntax error.  
Při jiné chybě.