

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva

Digitalna logika

Laboratorijske vježbe korištenjem sklopovskih pomagala

Upute za 5. laboratorijsku vježbu

Marko Zec

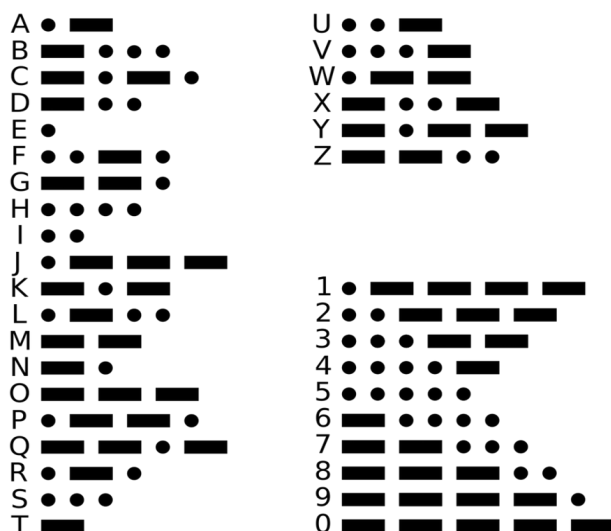
Prosinac 2022.

1 Uvod

Morseov kod jedan je od poznatijih postupaka kodiranja teksta nizom impulsa unaprijed definiranog uzorka i omjera trajanja temeljnih simbola. Od polovice 19. do pred kraj 20. stoljeća koristio se za prijenos poruka žičnom i bežičnom telegrafijom, a i danas se koristi za svjetlosnu signalizaciju na moru. Temeljni simboli međunarodnog Morseovog koda prema preporuci ITU-R M.1677-1 iz 2009. su:

1. kratki impuls ("točka"), u trajanju jednog referentnog vremenskog intervala
2. dugi impuls ("crta"), u trajanju tri referentna vremenska intervala
3. kratka pauza, u trajanju jednog referentnog vremenskog intervala
4. srednja pauza, u trajanju tri referentna vremenska intervala
5. duga pauza, u trajanju sedam referentnih vremenskih intervala

Kratka pauza odvaja impulse unutar jednog znaka, dakle unutar slova, brojke ili interpunkcije. Srednja pauza odvaja znakove, dok duga pauza služi za odvajanje riječi. Kodiranje znakova engleske abecede i dekadskih znamenki prikazano je slikom 1.



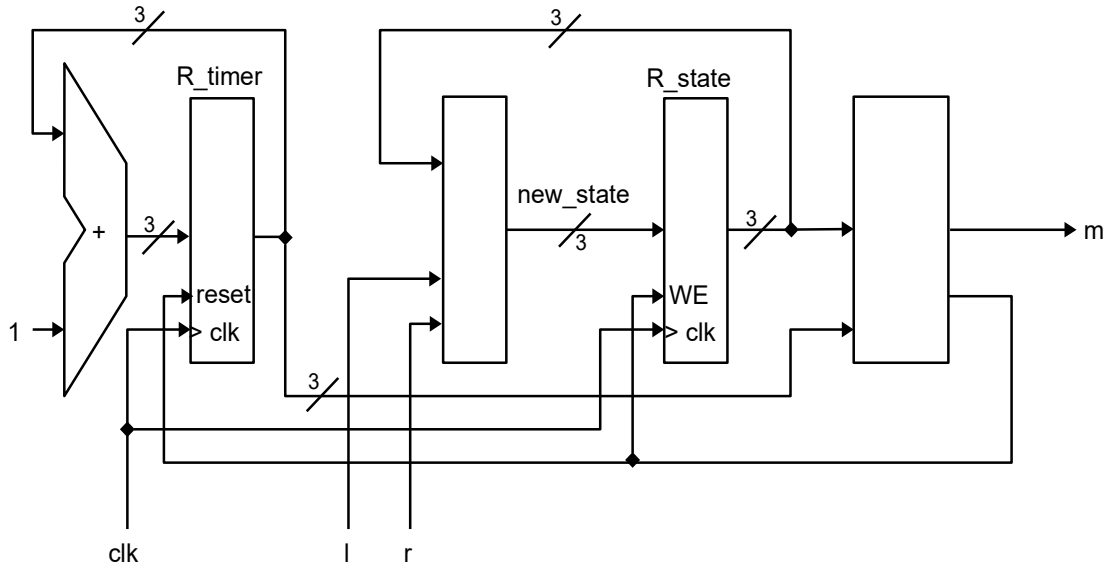
Slika 1: Morseov kod: slova i brojke (izvor: pngegg.com)

2 Generator Morseovih znakova

Cilj vježbe je konstruiranje automata s konačnim brojem stanja koji zavisno od pobude generira dva odabrana Morseova znaka. Modul mora imati četiri jednobitna ulaza: `clk` na koji se dovodi signal takta; `rst` koji na visokoj razini odvodi automat u stabilno početno stanje; `t` i `r`, na kojima **visoka razina okida početak generiranja Morseovih znakova koji odgovaraju Vašim inicijalima**. Modul treba imati samo jedan jednobitni izlaz `m` na kojem se zavisno od pobude razina mijenja prema zadanom Morseovom kodu.

```
entity morse is
  port(
    clk, rst, l, r: in std_logic;
    m: out std_logic
  );
end morse;
```

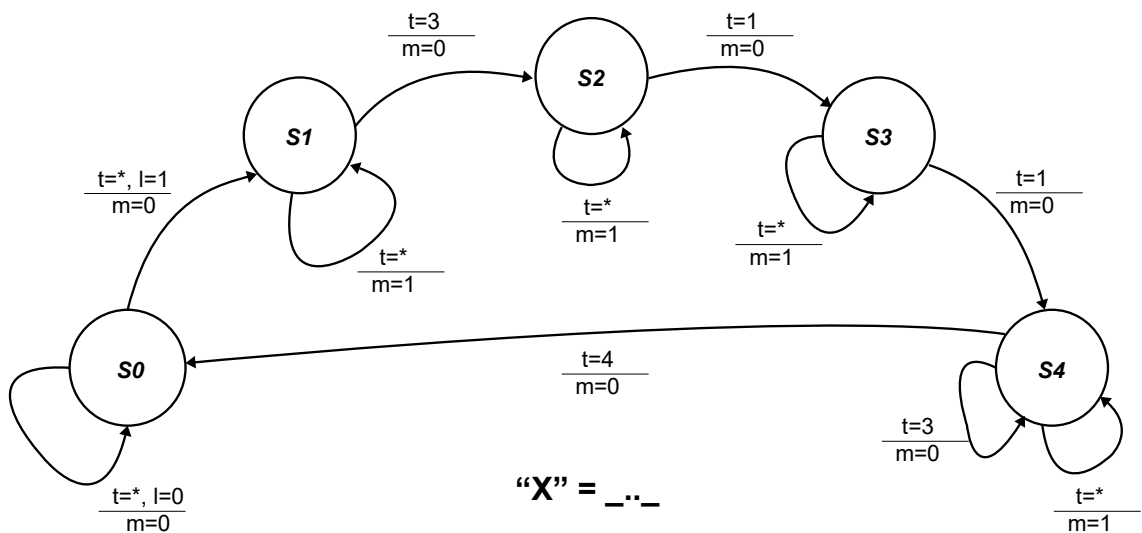
Sklop treba konstruirati korištenjem dva sinkrona, bridom okidana registra, od kojih glavni određuje trenutno stanje automata, a pomoćni služi kao brojilo ciklusa takta kojim se određuje vremensko trajanje zadržavanja automata u pojedinom stanju. Moguća struktura sklopa prikazana je slikom 2.



Slika 2: struktura automata

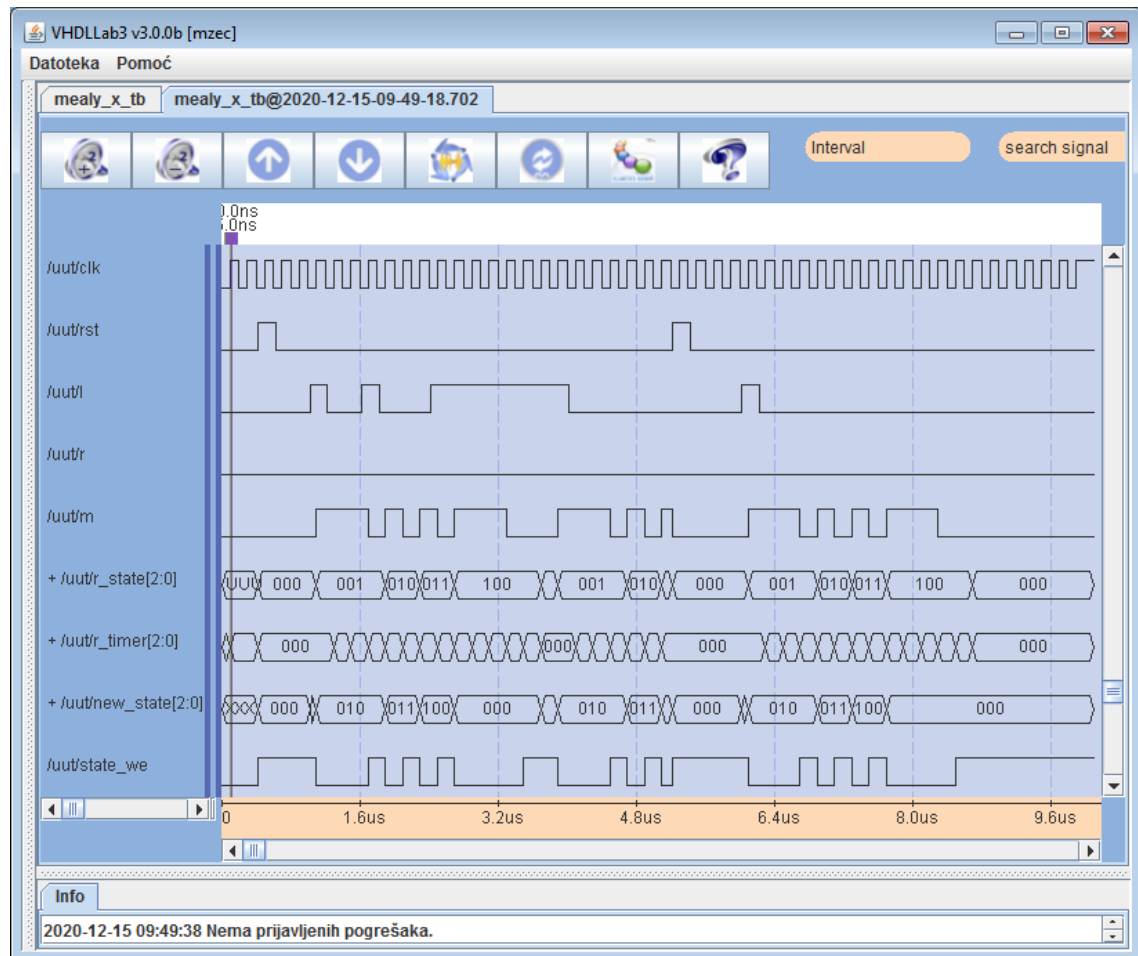
Kod Mooreovog modela automata kombinajska logika kojom se određuje izlaz m funkcija je isključivo trenutnog stanja automata određenog glavnim registrom R_state . Kod Mealyjevog modela automata izlaz m funkcija je trenutnog stanja R_state i pomoćnog registra R_timer . Izlaz m ne smije direktno ovisiti o ulazima l i r , kako bi se osiguralo uniformno trajanje simbola emitiranog Morseovog koda.

Slikom 3 prikazan je primjer dijagrama stanja Mealyjevog automata koji na izlazu m generira Morseov kod koji odgovara slovu X nakon pojave visoke logičke razine na ulazu l . Automat smije reagirati na visoku razinu na ulazima l ili r samo kad se nalazi u stanju S_0 . Zbog preglednosti ispušten je ulaz rst na kojem pojava visoke razine, bez obzira na trenutno stanje, automat mora odmah dovesti u stanje S_0 . Izostavljen je i ulaz r , koji u Vašoj izvedbi automata treba okidati generiranje dodatnog znaka.



Slika 3: Mealyjev model automata za generiranje znaka "X"

Slikom 4 prikazan je vremenski odziv Mealyjevog automata sa slike 3 koji je opisan VHDLom i simuliran u okruženju VHDLlab. Uočite omjer trajanja kratkih i dugih impulsa na izlazu m . Ako je na neki od ulaza l ili r dovedena visoka logička razina, između zadnjeg impulsa trenutnog i prvog impulsa slijedećeg znaka automat mora osigurati pauzu u trajanju od točno tri ciklusa takta.



Slika 4: Vremenski dijagram automata dobiven simuliranjem u okruženju VHDLlab

3 Zadatci

Kao odziv na visoku razinu na ulazu l automat treba otpočeti generirati Morseov kod koji odgovara prvom slovu Vašeg imena. Visoka razina na ulazu r treba pokrenuti generiranje Morseovog koda koji odgovara prvom slovu Vašeg prezimena.

3.1 Specifikacija automata dijagramom stanja: Mealyjev model

Rukom nacrtajte dijagram stanja Mealyjevog automata koji ostvaruje zadanu funkciju. Iz dijagrama stanja zbog preglednosti možete izostaviti ulaz rst . Na skici slovima i Morseovim kodom (crtama i točkama) označite koja dva znaka automat generira, te jasno istaknite ime, prezime i JMBAG.

3.2 Specifikacija automata dijagramom stanja: Mooreov model

Rukom nacrtajte dijagram stanja Mooreovog automata koji ostvaruje zadanu funkciju. Iz dijagrama stanja zbog preglednosti možete izostaviti ulaz `rst`. Na skici slovima i Morseovim kodom (crtama i točkama) označite koja dva znaka automat generira, te jasno istaknite ime, prezime i JMBAG.

3.3 Opis automata VHDLom

Zavisno od Vašeg JMBAGa, sklop treba ostvariti kao Mealyjev ili Mooreov automat VHDL opisom u razvojnom okruženju Lattice Diamond.

Studenti za koje vrijedi $JMBAG \% 2 = 0$ generator Morseovih znakova trebaju ostvariti kao Mooreov, a ostali studenti kao Mealyjev automat.

Studenti za koje vrijedi $\text{floor}(JMBAG / 10) \% 2 = 0$ trebaju ostvariti asinkrono djelovanje ulaza `rst`, a ostali studenti trebaju ostvariti djelovanje ulaza `rst` sinkrono na isti (rastući) brid takta `clk` na koji se okida upis podataka u registre automata.

Studenti za koje vrijedi $\text{floor}(JMBAG / 100) \% 2 = 0$ trebaju ostvariti pomoćno brojilo koje broji od nule uvećanjem za jedan, a ostali studenti ostvariti pomoćno brojilo koje broji od početne vrijednosti uvjetovane pojedinim stanjem do nule umanjnjem za jedan u svakom ciklusu takta.

3.4 Sinteza konfiguracije FPGA sklopa

Otvorite novi projekt u razvojnom okruženju Lattice Diamond. S web sjedišta www.nxlab.fer.hr/dl dohvatite module `morse_toplevel.vhd`, `tonegen.vhd` i `serial_tx.vhd`, te ih bez ikakvih dorada dodajte u Diamond projekt.

Ispitni modul `morse_toplevel` instancira modul `morse` uz povezivanje tipki i signala takta na ulaze, te izlaza na logiku odnosno vanjske module koji praćenje odziva automata na vanjsku pobudu omogućuju na LED indikatorima, slušalicama priključenima na razvojnu pločicu, ili na zaslonu računala.

```
fsm: entity work.morse port map (  
    clk => symbol_clk, rst => btn_up, l => btn_left, r => btn_right, m => morse  
);
```

U projekt uključite novi VHDL modul `morse.vhd` unutar kojeg trebate ostvariti zadanu funkcionalnost generatora Morseovih znakova.

Pri izradi VHDL opisa `morse.vhd` možete se (ali ne morate) poslužiti predlošcima `moore_x.vhd` ili `mealy_x.vhd` objavljenima na web sjedištu www.nxlab.fer.hr/dl, koje možete doraditi i proširiti kako bi ostvarili zadanu funkcionalnost.

Preporučamo za početak sintetizirati ispitni sklop korištenjem jednog od dva ponuđena predloška bez ikakvih dorada, te provjeriti odziv na pobudu takvog sklopa, nakon čega se možete upustiti u dorade logike automata prema zahtjevima iz točke 3.3 .

VHDL opis automata treba ostvariti kao samo jedan modul unutar datoteke `morse.vhd`. Nije dopušteno instanciranje bilo kakvih vanjskih pomoćnih modula ili komponenti.

3.5 Ispitivanje rada sklopa

Brzinu otkucaja takta `symbol_clk` može se podešavati prekidačima `sw(1..0)`, a glasnoću zvuka u slušalicama prekidačima `sw(3..2)`. Temeljem signala na izlazu `m` ispitni sklop generira ASCII znakove pomoću kojih se odziv automata na pobudu može pratiti i na računalu korištenjem programa za emuliranje terminala:

```
% ujprog -t *.bit
ULX2S / ULX3S JTAG programmer v 3.0.92 (built Dec 30 2018 01:04:57)
Using USB cable: ULX3S FPGA board
Programming: 100%
Completed in 1.66 seconds.
Terminal emulation mode, using 115200 bauds
Press ENTER, ~, ? for help
=== * * ===
=== * * ===
```

U sustav Ferko pohranite konfiguraciju FPGA sklopa `morse.jed` ili `morse.bit`, te presliku (screenshot) odziva automata na pobudu vidljivu na zaslonu računala po pokretanju alata `ujprog -t` pod nazivom `ujprog.png`.