

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva

Digitalna logika

Laboratorijske vježbe korištenjem sklopovskih pomagala

Upute za 1. laboratorijsku vježbu

Marko Zec

Listopad 2018.

1 Uvod i priprema

Cilj vježbe je upoznavanje s razvojnom okolinom Lattice Diamond s naglaskom na postupke unosa shematskog opisa jednostavnih kombinacijskih sklopova, sinteze odgovarajuće konfiguracije FPGA (*field programmable gate array*) sklopa, učitavanja konfiguracije u FPGA, te ispitivanja rada sintetizirane konfiguracije.

Priprema vježbe kod kuće pretpostavlja rad na vlastitom računalu u razvojnoj okolini Lattice Diamond, koju je svaki student trebao instalirati prilikom prijave za sklopovsku inačicu laboratorijskih vježbi. Studenti koji to žele mogu i u laboratoriju raditi na vlastitom prijenosnom računalu.

Proučite dokument "Upute za rad s FPGA razvojnom pločicom ULX2S", a posebno poglavlje 5, u kojem je opisan postupak opisa odnosno specifikacije digitalnog sklopa shematskim putem, postupak sinteze FPGA konfiguracije, te postupak programiranja razvojne pločice konfiguracijskom datotekom.

Svi studenti trebaju napraviti prvi dio vježbe prema uputama iz poglavlja 2. Studenti kojima je JMBAG parni broj trebaju konstruirati upravljač makete tenka po uputama u poglavlju 3, dok oni s neparnim JMBAG-om trebaju konstruirati upravljač LEGO makete po uputama iz poglavlja 4.

2 Shematski opis jednostavnog kombinacijskog sklopa

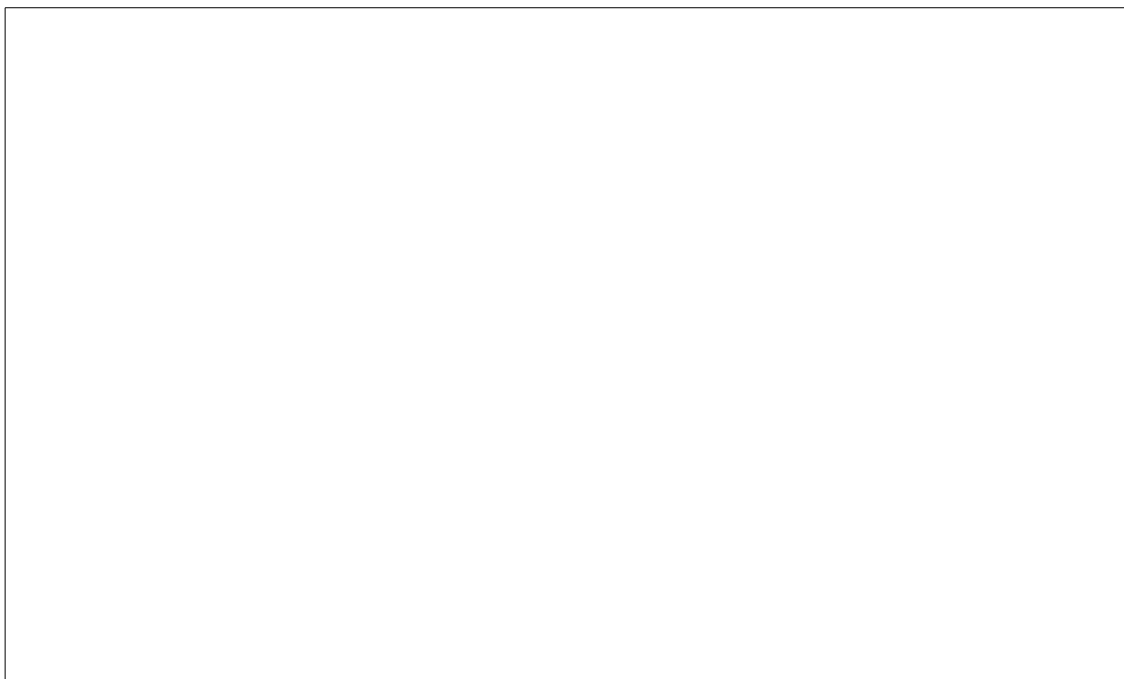
U okvir na dnu stranice **nacrtajte shemu sklopa** s tri ulaza (btn_left, btn_down, btn_right) i tri izlaza (led[0], led[1], led[2]) koji ostvaruje sljedeće logičke funkcije:

$\text{led}[0] = \text{btn_left} \text{ AND } \text{btn_down} \text{ AND } \text{btn_right}$

$\text{led}[1] = \text{btn_left} \text{ OR } \text{btn_down} \text{ OR } \text{btn_right}$

$\text{led}[2] = \text{btn_left} \text{ XOR } \text{btn_down} \text{ XOR } \text{btn_right}$

Zadani sklop možete izvesti korištenjem vrata AND, OR i XOR s dva ili tri ulaza, prema vlastitom izboru.



Ulazi `btn_left`, `btn_down`, `btn_right` na razvojnoj pločici su povezani na istoimene tipke, pritiskom na koje se signali dovode na visoku naponsku razinu (logička "1"), dok su signali putem internih otpornika (*eng. pull-down resistors*) pritegnuti na nisku naponsku razinu (logička "0") kad su tipke otpuštene. Izlazi (`led[0]`, `led[1]` i `led[2]`) povezani su s LED indikatorima ugrađenima na razvojnu pločicu u seriju s otpornicima koji ograničuju protok struje kroz indikatore.

Sklop iz pripreme shematski specificirajte koristeći alat Lattice Diamond, sintetizirajte ga za FPGA Lattice XP2-5E ili XP2-8E u kućištu TQFP-144 (razvojna pločica ULX2S), odnosno ECP5U-12F, ECP5U-25F, ECP5U-45F ili ECP5U-85F u kućištu BGA381 (razvojna pločica ULX3S), zavisno od varijante sklopa ugrađenog na Vašu razvojnu pločicu. Prilikom sinteze sklopa obavezno koristite već gotove datoteke s definicijama ulaznih i izlaznih signala "`ulx2s.lpf`" odnosno "`ulx3s.lpf`", koju možete preuzeti s web sjedišta <http://www.nxlab.fer.hr/dl/>. U biblioteci shematskih simbola `lattice.lib` alata Lattice Diamond dvoulazni sklopovi primjenjivi u ovom zadatku nazvani su `and2`, `or2` i `xor2`, dok se troulazni sklopovi zovu `and3`, `or3` i `xor3`.

Pomoću alata `ujprog` dobivenom konfiguracijskom datotekom isprogramirajte FPGA sklop:

`ujprog lab1.jed`

na razvojnoj pločici ULX2S, odnosno

`ujprog lab1.bit`

na razvojnoj pločici ULX3S.

Ispitajte rad sklopa prateći na LED indikatorima odziv na pritisnute tipke!

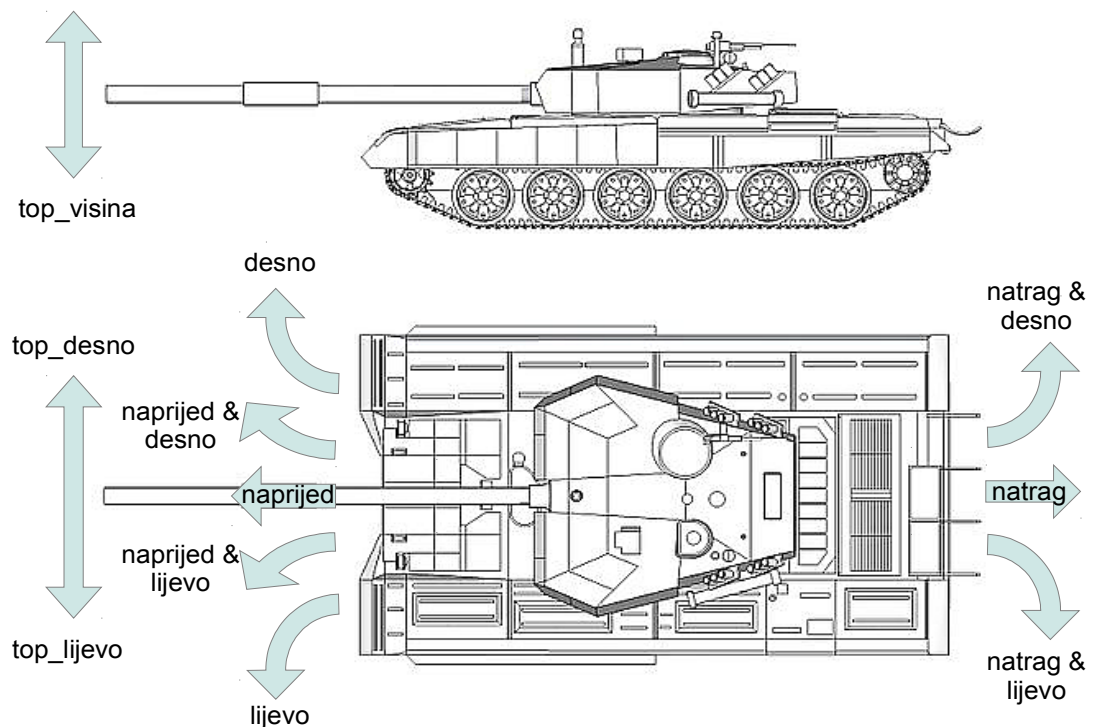
3 Daljinski upravljač radioupravljive makete (parni JMBAG)

Vaš je zadatak konstruirati kombinacijski sklop koji će omogućiti upravljanje maketom tenka s većim brojem upravljačkih signala pomoću samo pet tipki na razvojnoj pločici ULX2S. Pri izradi zadatka koristit ćete već gotovi modul "`rf_modulator`" koji ima slijedeće ulaze: `clk`, `kanal`, `brzina`, `naprijed`, `natrag`, `lijevo`, `desno`, `top_lijevo`, `top_desno`, `top_visina`, `top_zvuk`, `top_granata`, `strojnica` i `motor`. Jedini izlaz iz modula "`rf_modulator`" je radiofrekvencijski signal `rf` koji služi za prenošenje kodiranih upravljačkih informacija maketi tenka bežičnim putem na odabranom kanalu u frekvencijskom pojasu 27 MHz.

Funkcije ulaznih upravljačkih signala modula "`rf_modulator`" su slijedeće:

- `naprijed`, `natrag`, `lijevo`, `desno`: pokretanje makete u željenom smjeru;
- `top_lijevo`, `top_desno`: okretanje kupole makete u željenom smjeru;
- `top_visina`: promjena elevacije cijevi topa (pri duljem zadržavanju upravljačkog signala na visokoj razini, cijev se ciklički pomiče gore i dolje);
- `top_zvuk`: simuliranje pucnja topa zvučnim signalom i trzajem cijele makete;
- `top_granata`: pokretanje mehanizma za ispućavanje plastične kuglice iz cijevi topa (ne koristi se u vježbi – ulaz treba ostati odspojen!);
- `strojnica`: simuliranje rafalne paljbe iz strojnice svjetlosnim i zvučnim signalima;
- `motor`: uključivanje i isključivanje svih ostalih funkcija prijemnika;
- `brzina`: 2-bitni signal koji određuje brzinu kretanja makete, od "00" za najsporiju vožnju do "11" za najveću brzinu;

- kanal: 2-bitni signal za odabir radiofrekvencijskog kanala, što omogućuje istovremeno upravljanje većim brojem maketa pomoću više različito podešenih odašiljačkih sklopova;
- clk: ulazni signal takta frekvencije 25 MHz.



Slika 1: funkcije glavnih upravljačkih signala modula "rf_modulator"

Funkcije glavnih upravljačkih ulaza modula "rf_modulator" dodatno su ilustrirane slikom 1.

Pri izradi zadatka možete se poslužiti predloškom za izradu kombinacijskog sklopa prikazanim shemom na slici 2 na kojemu je već instancirana komponenta "rf_modulator". Na komponentu "rf_modulator" već su povezani sljedeći signali:

- na ulaz clk doveden je vanjski izvor signala takta frekvencije 25 MHz clk_25m s oscilatora ugrađenog na razvojnu pločicu;
- na ulaz kanal doveden je vanjski signal s mikroprekidača sw_1 i sw_0;
- na ulaz brzina doveden je vanjski signal s mikroprekidača sw_3 i sw_2;
- na ulaze motor, naprijed i natrag dovedeni su izlazi kombinacijskih sklopova povezanih na tipke btn_up, btn_down, btn_left, btn_right te btn_center (pločica ULX2S), odnosno btn_pwr te btn_f1 (pločica ULX3S)
- dio ulaza modula "rf_modulator" putem pojačala (buffers) prosprojen je na LED indikatore kako bi se olakšalo ispitivanje rada kombinacijske mreže;
- izlaz rf povezan je na priključnice višenamjenske stereo utičnice p_tip i p_ring, putem kojih se modulirani radiofrekvencijski signal odašilje u eter.

Na sklopu iz sheme sa slike 2 izvedene su samo funkcije uključivanja odnosno isključivanja prijemnika radioupravljanje makete istodobnim pritiskom na tipke btn_up i btn_down, (pločica ULX2S) odnosno pritiskom na tipku btn_pwr (pločica ULX3S), te pokretanje makete ravno naprijed i natrag.

Prije dolaska na vježbu dopunite shemu sa slike 2 odgovarajućom kombinacijskom mrežom sastavljenom od temeljnih sklopova I, ILI odnosno NE, kako bi se na ulaze sklopa "rf_modulator" doveli i svi ostali signali potrebni za upravljanje maketom, koji trebaju biti izvedeni kao logičke funkcije vanjskih ulaznih signala povezanih s pet tipki: btn_up, btn_down, btn_center, btn_left i btn_right.

motor = btn_up AND btn_down AND NOT btn_center

naprijed = btn_up AND NOT btn_center

natrag = btn_down AND NOT btn_center

lijevo = btn_left AND NOT btn_center

desno = btn_right AND NOT btn_center

top_lijevo = btn_left AND btn_center

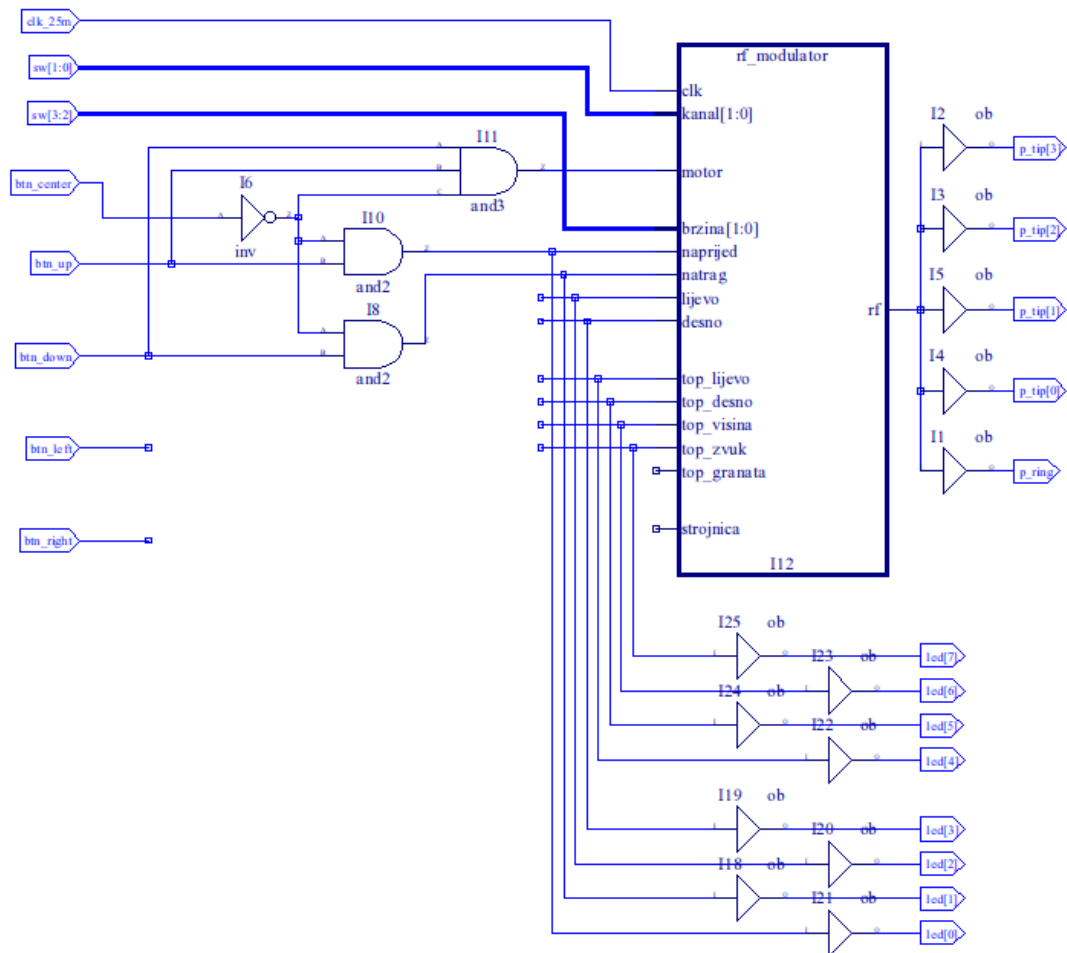
top_desno = btn_right AND btn_center

top_visina = btn_down AND btn_center

top_zvuk = btn_up AND btn_center

strojnica = btn_left AND btn_right

Studenti koji koriste razvojnu pločicu ULX3S umjesto tipke btn_center mogu koristiti tipke btn_f1 i / ili btn_f2 prema vlastitim zamislima.



Slika 2: nepotpuna shema sklopa “daljinski upravljač makete tenka”

3.1 Unos opisa i sinteza sklopa u razvojnoj okolini Lattice Diamond

Zavisno od inačice razvojne pločice koju koristite, otvorite novi prazni direktorij te u njega kopirajte datoteke `tenk_upravljac_xp2.sch`, `rf_modulator_xp2.vhd`, `rf_modulator.sym` i `ulx2s.lpf` (pločica ULX2S), odnosno `tenk_upravljac_ecp5.sch`, `rf_modulator_ecp5.vhd`, `rf_modulator.sym` i `ulx3s.lpf` (pločica ULX3S). Datoteke možete dohvatiti s web sjedišta www.nxlab.fer.hr/dl/. Pokrenite razvojnu okolinu Lattice Diamond. Pokrenite stvaranje novog projekta, pri čemu za projekt odaberite radni direktorij s dohvaćenim datotekama. U slijedećem koraku dodajte dohvaćene datoteke u projekt (Add Source), pri čemu opcija "Copy source to implementation directory" treba biti isključena. U izborniku "Select Device" odaberite odgovarajući FPGA sklop (XP2-5E ili XP2-8E) u kućištu TQFP-144 (pločica ULX2S), odnosno ECP5U-12F, ECP5U-25F, ECP5U-45F ili

ECP5U-85F u kućištu BGA381 (razvojna pločica ULX3S). Provedba ovih koraka detaljnije je ilustrirana i objašnjena u dokumentu "Upute za rad s FPGA razvojnom pločicom ULX2S".

VAŽNO: prije svakog pokretanja sinteze **obavezno** uključite opciju *View → Show Views → hierarchy*. Provjerite da je u izborniku *File List* datoteka sa shematskim opisom (.sch) istaknuta debljim fontom.

Programiranje FPGA sklopa pomoću dobivene konfiguracijske datoteke možete provesti na identičan način kao i u prethodnom zadatku:

ujprog lab1.jed

na razvojnoj pločici ULX2S, odnosno

ujprog lab1.bit

na razvojnoj pločici ULX3S.

3.2 Ispitivanje rada sklopa u laboratoriju

- Uključite napajanje makete pomicanjem **većeg** prekidača s donje strane makete u položaj "ON". Signalne bijele LED lampice s prednje strane makete bi trebale početi treptati u pravilnom ritmu. Ukoliko bijele LED lampice na maketi ne trepću obratite se demonstratoru ili asistentu (potrebno je zamijeniti bateriju);
- Uskladite radiofrekvencijski kanal odašiljača i prijemnika na način da mikroprekidače sw_1 i sw_0 postavite u isti položaj koji je označen na gornjoj strani makete kojom ćete upravljati (npr. "10" ili "11");
- U višenamjensku stereo-utičnicu razvojne pločice utaknite žičanu antenu;
- Programirajte FPGA pločicu putem USB sučelja, ili je priključite na baterijsko napajanje, ukoliko ste konfiguraciju FPGA sklopa programirali u *flash* memoriju;
- Pritiskom na odgovarajuću kombinaciju tipki generirajte kratki impuls na ulaznom signalu motor modula "rf_modulator", čime bi se trebale omogućiti sve funkcije prijemnika. Nekoliko sekundi nakon generiranja ovog impulsa, bijele signalne LED lampice trebale bi umjesto treptanja biti trajno upaljene, a maketa bi trebala generirati kontinuirani zvučni signal koji simulira rad motora;
- Pritiskom na odgovarajuće tipke odnosno kombinacije tipki ispitajte sve funkcije upravljačkog sklopa, odnosno radioupravljanje makete;
- Ponovnim generiranjem kratkog impulsa na ulaznom signalu motor onemogućite ostale upravljačke funkcije prijemnika, pri čemu bi signalne LED lampice trebale ponovo započeti treptati, a maketa bi se trebala zaustaviti.

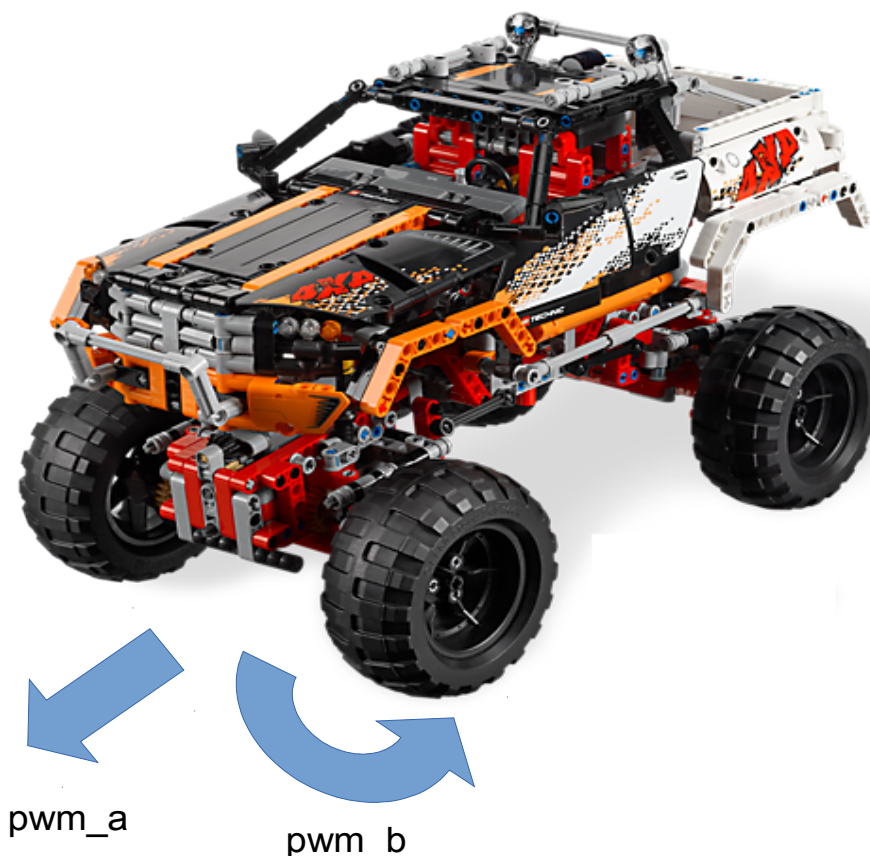
4 Daljinski upravljač LEGO makete vozila (neparni JMBAG)

Vaš je zadatak konstruirati kombinacijski sklop koji će omogućiti daljinsko upravljanje LEGO maketom vozila pomoću četiri tipke na razvojnoj pločici ULX2S. Pri izradi zadatka koristit ćete već gotovi modul "lego_ir" koji ima dva četverobitna ulaza: pwm_a i pwm_b. Jedini izlaz iz modula "lego_ir" je signal ir koji služi za odašiljanje kodiranih upravljačkih informacija maketi vozila infracrvenim signalom.

Funkcije ulaznih upravljačkih signala modula "lego_ir" su sljedeće:

- pwm_a: kodna riječ koja određuje brzinu kretanja makete: "0000" za mirovanje, "0111" za kretanje naprijed punom brzinom, te "1001" za kretanje natrag punom brzinom;
- pwm_b: kodna riječ koja određuje smjer makete: "0000" za pravocrtno kretanje, "0111" za skretanje u lijevo, te "1001" za skretanje u desno;
- ch: 2-bitni signal za odabir identifikatora kanala, što omogućuje istovremeno upravljanje više maketa pomoću različito podešenih odašiljačkih sklopova;
- clk: ulazni signal takta frekvencije 25 MHz.

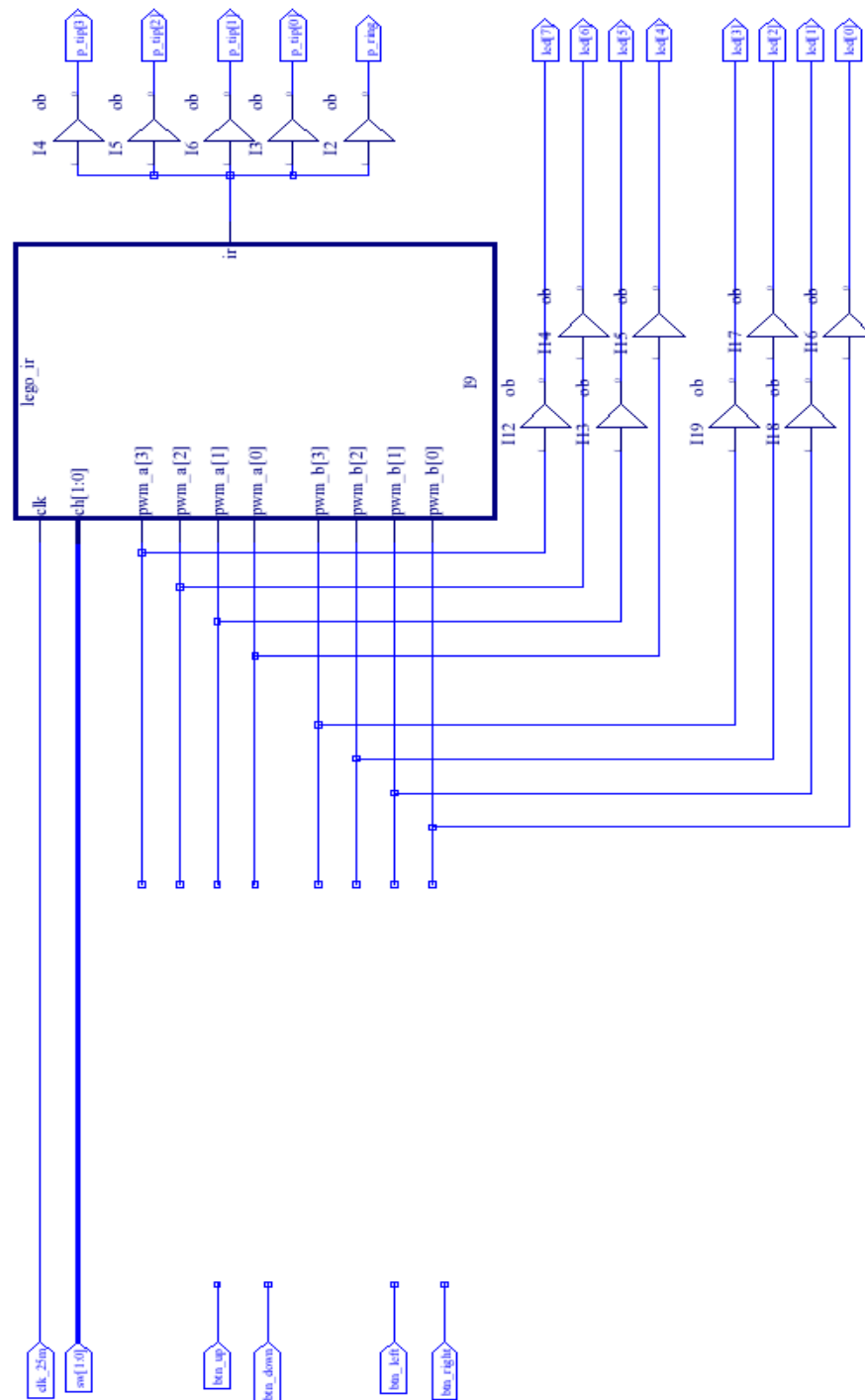
Funkcije glavnih upravljačkih ulaza modula "lego_ir" dodatno su ilustrirane slikom 3.



Slika 3: upravljački signali LEGO makete

Pri izradi zadatka možete se poslužiti predloškom za izradu kombinacijskog sklopa prikazanim shemom na slici 4 na kojemu je već instancirana komponenta "lego_ir", a na komponentu "lego_ir" već su povezani sljedeći signali:

- na ulaz clk doveden je vanjski izvor signala takta frekvencije 25 MHz clk_25m s oscilatora ugrađenog na razvojnu pločicu;
- na ulaz ch doveden je vanjski signal s mikroprekidača sw_1 i sw_0;
- ulazni signali pwm_a i pwm_b preko odvojnih pojačala (buffers) povezani su s LED indikatorima, kako bi se olakšalo ispitivanje sklopa;
- izlaz ir povezan je na priključnice višenamjenske stereo utičnice p_tip i p_ring, na koju će se u laboratoriju priključiti infracrvena dioda za odašiljanje moduliranog upravljačkog signala.



Slika 4: nepotpuna shema sklopa “daljinski upravljač LEGO makete”

Vaš je zadatak konstruirati kombinacijski sklop koji će pritiske na tipke btn_up, btn_down, btn_left i btn_right preslikati u odgovarajuće kodne riječi koje treba dovesti na ulaze modulatora pwm_a i pwm_b prema slijedećoj tablici:

funkcija	bt n_ down	bt n_ up	pwm_ a
stop	0	0	0000
naprijed	0	1	0111
natrag	1	0	1001
-	1	1	nedefinirano

funkcija	bt n_ r_ ight	bt n_ l_ eft	pwm_ b
ravno	0	0	0000
lijevo	0	1	0111
desno	1	0	1001
-	1	1	nedefinirano

Za kombinacije tipki "11" kodne riječi za pwm_a i pwm_b mogu poprimiti proizvoljne vrijednosti. **Prije dolaska na vježbu na shemu sklopa sa slike 4 ucrtajte i na odgovarajući način povežite dodatne temeljne logičke sklopove** I, ILI, ekskluzivno-ILI odnosno NE, kojima ćete ostvariti tablicom zadane funkcije.

4.1 Unos opisa i sinteza sklopa u razvojnoj okolini Lattice Diamond

Stvorite novi prazni direktorij te u njega kopirajte datoteke `lego_upravljac_xp2.sch`, `lego_ir.vhd`, `lego_ir.sym` i `ulx2s.lpf` (pločica ULX2S), odnosno `lego_upravljac_ecp5.sch`, `lego_ir.vhd`, `lego_ir.sym` i `ulx3s.lpf` (pločica ULX3S). Datoteke možete dohvatiti s web sjedišta www.nxlab.fer.hr/dl/. Pokrenite razvojnu okolinu Lattice Diamond. Pokrenite stvaranje novog projekta, pri čemu za projekt odaberite radni direktorij s dohvaćenim datotekama. U slijedećem koraku dodajte dohvaćene datoteke u projekt (Add Source), pri čemu opcija "Copy source to implementation directory" treba biti isključena. U izborniku "Select Device" odaberite odgovarajući FPGA sklop (XP2-5E ili XP2-8E) u kućištu TQFP-144 (razvojna pločica ULX2S), odnosno ECP5U-12F, ECP5U-25F, ECP5U-45F ili ECP5U-85F u kućištu BGA381 (razvojna pločica ULX3S), zavisno od varijante sklopa ugrađenog na Vašu razvojnu pločicu. Provedba ovih koraka detaljnije je ilustrirana i objašnjena u dokumentu "Upute za rad s FPGA razvojnom pločicom ULX2S".

VAŽNO: prije svakog pokretanja sinteze **obavezno** uključite opciju *View → Show Views → hierarchy*. Provjerite da je u izborniku *File List* datoteka sa shematskim opisom (.sch) istaknuta debljim fontom.

Sintezu konfiguracije i programiranje FPGA sklopa pomoću dobivene konfiguracijske datoteke možete provesti na identičan način kao i u prethodnom zadatku:

ujprog lab1.jed

na razvojnoj pločici ULX2S, odnosno

ujprog lab1.bit

na razvojnoj pločici ULX3S.

4.2 Ispitivanje rada sklopa u laboratoriju

- Uključite napajanje makete pomicanjem prekidača skrivenog ispod lijevih vrata. Zelena signalna LED lampica infracrvenog prijemnika pri vrhu makete trebala bi biti upaljena. Ukoliko LED lampica na maketi ne svijetli obratite se demonstratoru ili asistentu (potrebno je zamijeniti baterije);
- Uskladite kod kanala odašiljača i prijemnika podešavanjem mikroprekidača `sw_1` i `sw_0`. Položaj mikroprekidača "00" odgovara oznaci kanala "1" na prijemniku, "01" odgovara kanalu "2" itd.;
- U višenamjensku stereo-utičnicu razvojne pločice utaknite odašiljački LED;
- Programirajte FPGA pločicu putem USB sučelja, ili je priključite na baterijsko napajanje ako ste konfiguraciju FPGA sklopa već programirali u *flash* memoriju;
- Odašiljačku LED diodu usmjerite direktno prema prijemniku makete, pri čemu bi prijemnik brzim treptanjem zelene LED diode trebao signalizirati uspješan prijem upravljačkog signala;
- Pritiskom na odgovarajuće tipke ispitajte sve funkcije upravljačkog sklopa,

odnosno daljinski upravljane makete.

5 Smjernice za rad s maketama u laboratoriju

Kako bi se prilikom ispitivanja rada sintetiziranih sklopova za daljinsko upravljanje smanjile mogućnosti ozljeda studenata ili oštećenja maketa, molimo Vas da se pridržavate sljedećih pravila:

- Makete je dozvoljeno voziti isključivo po podu;
- O redoslijedu po kojem će studenti ispitivati rad svojih upravljačkih sklopova i daljinski upravljanih maketa konzultirajte se s demonstratorom ili asistentom;
- U laboratoriju će biti raspoloživo više maketa s prijemnicima podešenima za rad na različitim kanalima. Vodite računa da ne dolazi do sudara maketa prilikom ispitivanja rada daljinskih upravljača, te nemojte ometati kolege koje trenutno ispituju rad svog sklopa generiranjem upravljačkog signala na istom kanalu;
- Kod početnih faza ispitivanja rada sklopa za upravljanje maketama tenkova obavezno odaberite najmanju brzinu vožnje: mikroprekidači `sw_3` i `sw_2` moraju biti u položaju OFF (poluge mikroprekidača pomaknute prema dolje). Kasnije možete isprobati i upravljanje pri postavkama za veće brzine vožnje;
- Makete tenkova nije dozvoljeno držati za kupolu, cijev topa ili gusjenice, već isključivo za karoseriju i to koristeći obje ruke, pri čemu treba paziti da se prsti, kosa, odjeća, nakit ili bilo kakvi elektronički uređaji ili priključni kabeli ne zapetljaju u zupčanike, kotače ili gusjenice;
- Nije dozvoljeno uključivati funkciju ispucavanja plastičnih loptica;
- Eventualno namjerno oštećivanje maketa ili otuđivanje dijelova bit će prijavljeno prodekanu za nastavu i podložno posebnim sankcijama.