

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet elektrotehnike i računarstva

Digitalna logika

Laboratorijske vježbe korištenjem sklopovskih pomagala

Upute za 1. laboratorijsku vježbu

Marko Zec

Listopad 2014.

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.

Proučite dokument "Upute za rad s FPGA razvojnom pločicom ULX2S", a posebno poglavlja 3, 4 i 5, u kojima je opisan postupak instalacije programske podrške za rad s razvojnom pločicom, postupak opisa odnosno specifikacije digitalnog sklopa shematskim putem, postupak sinteze FPGA konfiguracije, te postupak programiranja razvojne pločice konfiguracijskom datotekom. Na vlastito računalo (kod kuće) instalirajte programsku podršku prema navedenim uputama. Kako je instalacijski paket alata Lattice Diamond velik cca. 1.6 GB, studenti koji kod kuće nemaju *flat rate* pristup Internet mreži mogu instalacijski paket preuzeti na vlastitu prijenosnu USB memorijsku karticu ili disk u nekom od javnih studentskih laboratorija (A109, PCLAB).

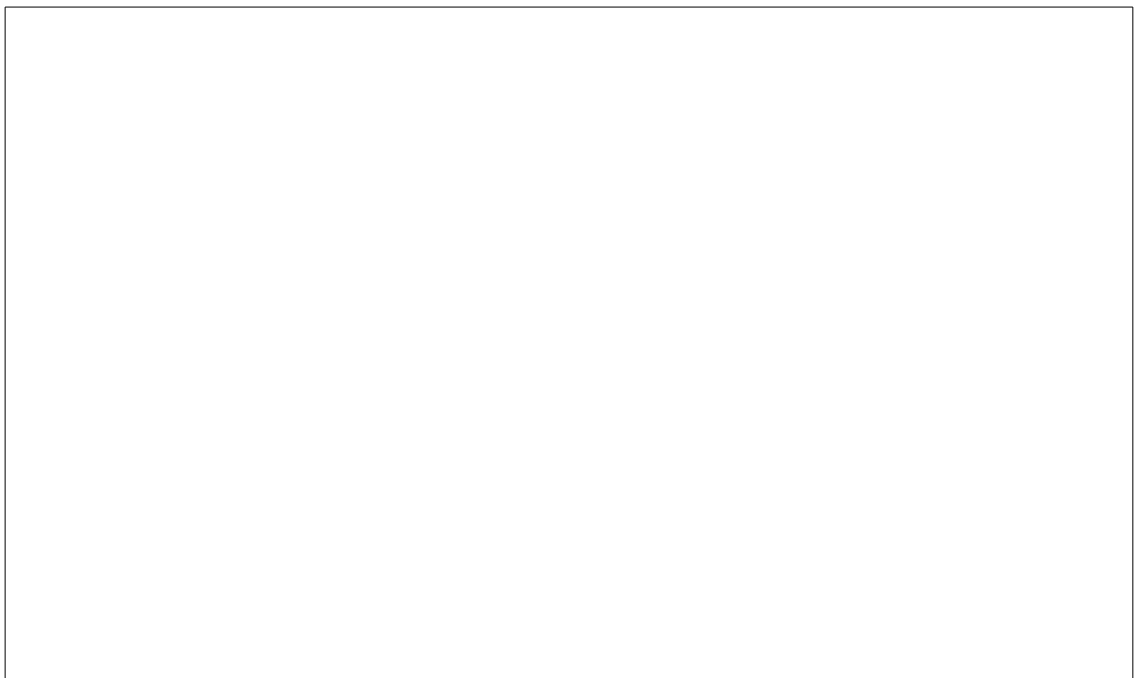
Svi studenti trebaju napraviti prvi dio vježbe prema uputama iz poglavlja 2. Studenti kojima je JMBAG parni broj trebaju konstruirati upravljač makete tenka po uputama u poglavlju 1, dok oni s neparnim JMBAG-om trebaju konstruirati upravljač LEGO makete po uputama iz poglavlja 2.

2 Shematski opis jednostavnog kombinacijskog sklopa

U okvir na dnu stranice **nacrtajte shemu sklopa** s tri ulaza (`btn_left`, `btn_center`, `btn_right`) i tri izlaza (`led_0`, `led_1`, `led_2`) koji ostvaruje sljedeće logičke funkcije:

```
led_0 = btn_left AND btn_center AND btn_right  
led_1 = btn_left OR btn_center OR btn_right  
led_2 = btn_left XOR btn_center XOR btn_right
```

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



Ulazi `btn_left`, `btn_center`, `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 (zavisno od varijante sklopa ugrađenog na Vašu razvojnu pločicu), te pomoću alata `ujprog` dobivenom konfiguracijskom datotekom isprogramirajte FPGA sklop. Prilikom sinteze sklopa obavezno koristite već gotovu datoteku s definicijama ulaznih i izlaznih signala "`ulx2s.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`.

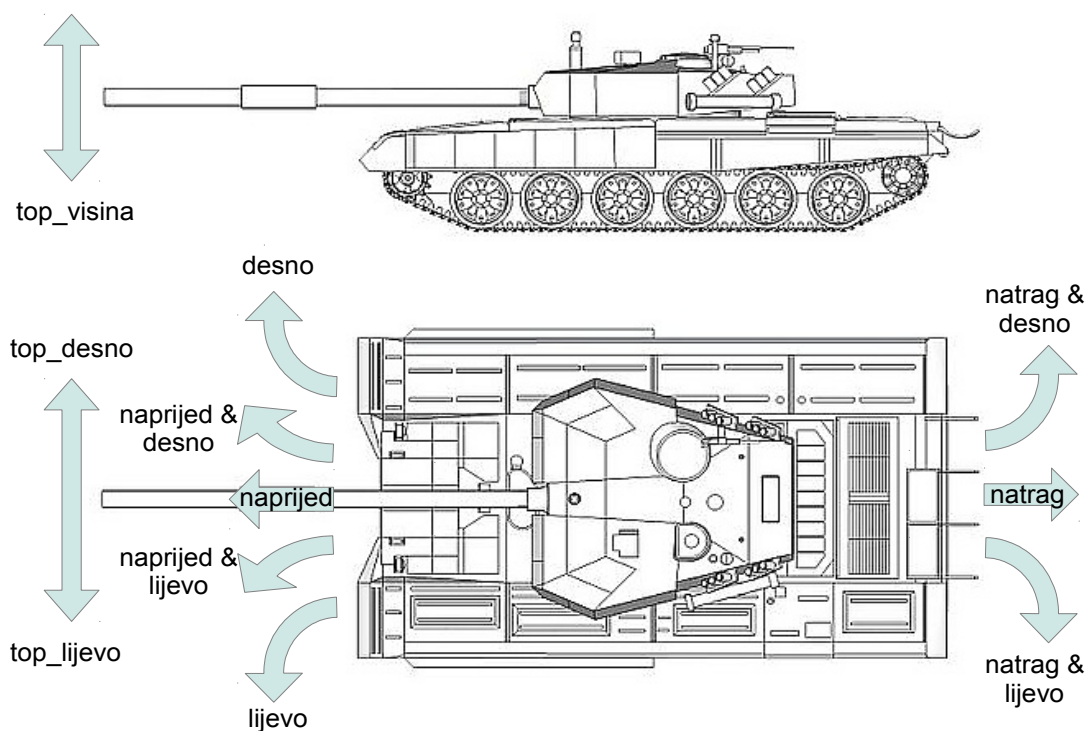
Ispitajte rad sklopa prateći na LED indikatorima odziv na pritisnute tipke!

1 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 sljedeće 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 sljedeće:

- `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_center`, `btn_left` i `btn_right`;
- dio ulaza modula "rf_modulator" putem pojačala (buffers) prosuđen 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.

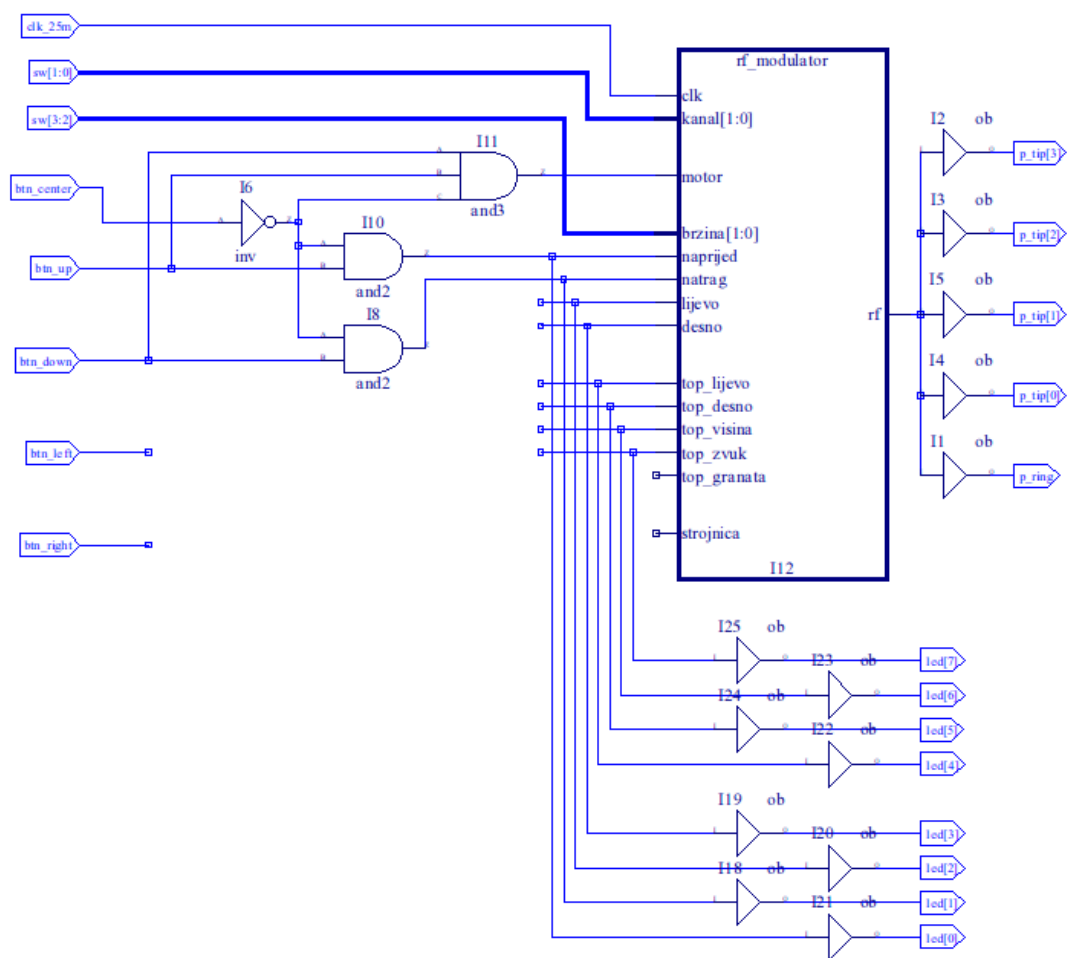
Na sklopu iz sheme sa slike 2 izvedene su samo funkcije uključivanja odnosno isključivanja prijemnika radioupravljanje makete istodobnim pritiskom na tipke `btn_up` i `btn_down`, te pokretanje makete ravno naprijed i natrag.

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

```



Slika 2: nepotpuna shema sklopa "daljinski upravljač makete tenka"

1.1 Unos opisa i sinteza sklopa u razvojnoj okolini Lattice Diamond

Stvorite novi prazni direktorij te u njega kopirajte datoteke `tenk_upravljac.sch`, `rf_modulator.vhd`, `rf_modulator.sym` i `ulx2s.lpf`, koje 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. Provedba ovih koraka detaljnije je ilustrirana i objašnjena u dokumentu "Upute za rad s FPGA razvojnom pločicom ULX2S".

Sintezu konfiguracije i programiranje FPGA sklopa pomoću dobivene konfiguracijske datoteke možete provesti na identičan način kao i u prethodnom zadatku. Po želji, konfiguraciju možete učitati u trajnu (Flash) memoriju FPGA sklopa:

```
ujprog -j flash lab1.jed
```

što će omogućiti da se pri uspostavi napajanja FPGA sklop samostalno automatski konfigurira, bez intervencije s računala. Razvojne pločice s takvim načinom učitavanja konfiguracije u FPGA sklop moći će raditi kao daljinski upravljači maketa i uz baterijsko napajanje koje će biti dostupno u laboratoriju.

1.2 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.

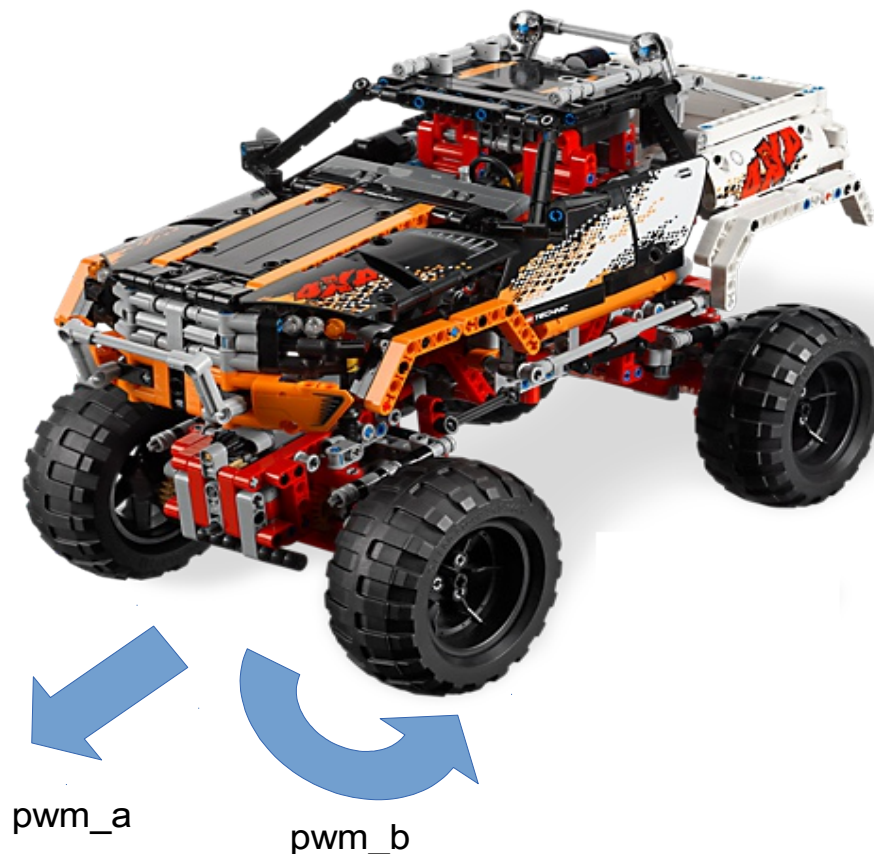
2 Daljinski upravljač LEGO makete vozila (neparni JMBAG)

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.

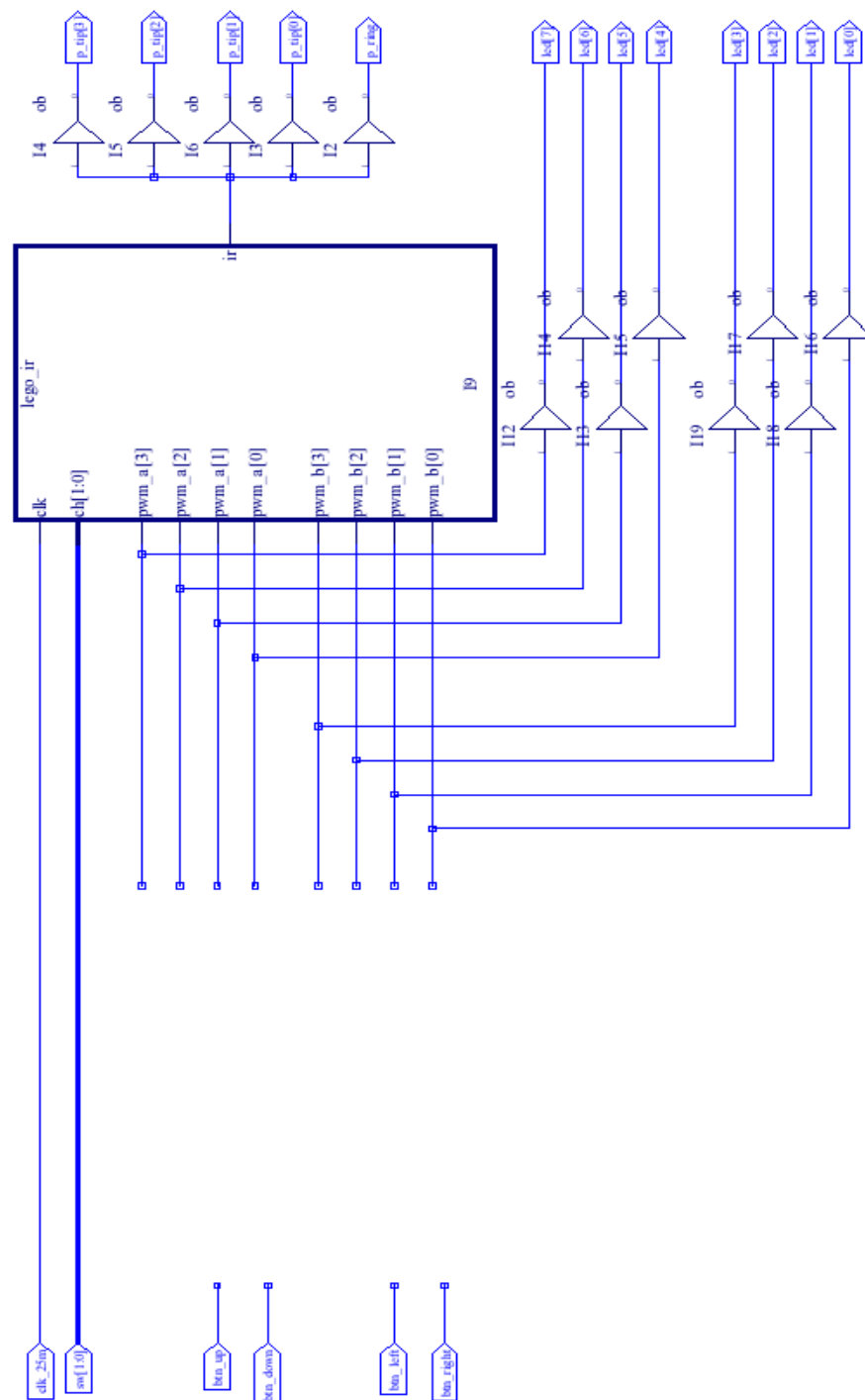
Funkcije glavnih upravljačkih ulaza modula "lego_ir" dodatno su ilustrirane slikom 3.



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	btn_down	btn_up	pwm_a
stop	0	0	0000
naprijed	0	1	0111
natrag	1	0	1001
-	1	1	nedefinirano

funkcija	btn_right	btn_left	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.**

2.1 Unos opisa i sinteza sklopa u razvojnoj okolini Lattice Diamond

Stvorite novi prazni direktorij te u njega kopirajte datoteke `lego_upravljac.sch`, `lego_ir.vhd`, `lego_ir.sym` i `ulx2s.lpf`, koje 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. Provedba ovih koraka detaljnije je ilustrirana i objašnjena u dokumentu "Upute za rad s FPGA razvojnom pločicom ULX2S".

Sintezu konfiguracije i programiranje FPGA sklopa pomoću dobivene konfiguracijske datoteke možete provesti na identičan način kao i u prethodnom zadatku. Po želji, konfiguraciju možete učitati u trajnu (Flash) memoriju FPGA sklopa:

```
ujproj -j flash lab1.jed
```

što će omogućiti da se pri uspostavi napajanja FPGA sklop samostalno automatski konfigurira, bez intervencije s računala. Razvojne pločice s takvim načinom učitavanja konfiguracije u FPGA sklop moći će raditi kao daljinski upravljači maketa i uz baterijsko napajanje koje će biti dostupno u laboratoriju.

2.2 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.

3 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.