

**PROJEKAT
FPGA PLOČICA
*IMPERIJA UZVRAĆA UDARAC***

Osnovi računarske tehnike 2

Autori:

Matija Dodović (0072/2018)

Mihailo Pačarić (0609/2018)



**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET
UNIVERZITET U BEOGRADU
RAČUNARSKA TEHNIKA I INFORMATIKA**

Februar 2020

Sadržaj

Naslov poglavlja	Broj strane
1 Uvod	1
1.1 <i>Introduction story</i>	1
1.2 Opis projekta	1
2 Komponente	2
2.1 Protokoli	2
2.1.1 Tastatura - PS2 protokol	2
2.1.2 Monitor - VGA protokol	3
2.1.3 Spajanje dve <i>FPGA</i> pločice	4
2.2 Logičke komponente	5
2.2.1 Sabiranje	5
2.2.2 Oduzimanje	6
2.2.3 Množenje	7
2.2.4 Deljenje	8
2.2.5 Kvadratni koren	9
2.3 Iscrtavanja	10
2.3.1 Krug	10
2.3.2 Senka	11
2.3.3 Kružni prsten	11
2.4 Sudari	12
2.5 Crtanje životnih poena	12
3 Elementi sistema	13
3.1 Zvezda	13
3.2 Planete	13
3.2.1 Opis planeta u sistemu	13
3.2.2 Kretanje planeta	14
3.3 Nišan	14
3.4 Raketa	15
3.4.1 Opis rakete u sistemu	15
3.4.2 Kretanje rakete	15
4 Mane trenutnog rešenja	16
5 Budući koraci	17
Bibliografija	17

Uvod

1.1 *Introduction story*

A long time ago in a galaxy far, far away ...

There was a system with two planets DODAX-E and PACHEMED-S. They have lived in peace and quite, while rotating around the central star ORTIUM-2. Until PACHEMED-S, a smaller planet, has become overpopulated. Once green planet became brown and grey because of pollution and development of industry. Day after days, PACHEMED-S's resources dwindled making its industry desperate for DODAX-E's resources. The amount of DODAX-E's resources made its government greedy and they felt dominant. Which led to PACHEMED-S's citizens into slavery and poverty. The situation brought up an uprising, leading to "Battle for RTI".

The war is about to begin ...

1.2 Opis projekta

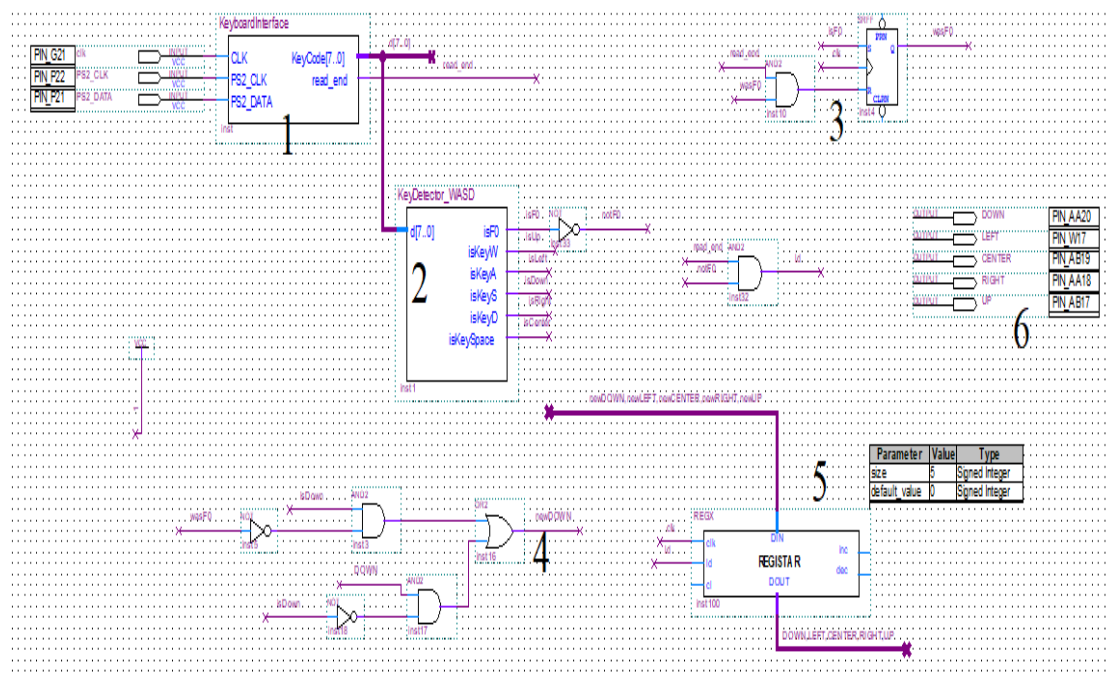
U radu je predstavljen 2D model sistema sačinjenog od centralne zvezde i dve planete koje rotiraju oko nje, obe u direktnom smeru različitim brzinama. Planete ratuju između sebe tako što ispaljuju rakete jedna na drugu. Svaka planeta ima svoj nišan, koji je na početku postavljen u centar zvezde, radi fer početka igre. Dva igrača kontrolišu svaki svoj nišan. Za svaki nišan je predviđena posebna tastatura, tako da se pritiskanjem tastera *W*, *A*, *S*, *D* može pomerati nišan, u smerovima (*Gore*, *Levo*, *Dole*, *Desno*), respektivno. Životni poeni, u formi *health bar*-a, za svaku planetu su postavljeni na krajevima ekrana. Pritiskom na taster *SPACE* raketa se stvara u centru planete, a otpuštanjem tog tastera se raketa lansira u pravcu nišana. U istom trenutku je moguće imati samo jednu raketu. Usled ponovnog pritiskanja tastera *SPACE*, sudara sa zvezdom ili planetom, raketa nestaje. Ukoliko se desi udarac rakete jedne planete u drugu, životni poeni pogođene planete se smanjuju. Igra se završava kada jedan igrač izgubi sve životne poene. Tada se ekran zamrzava i nije moguće dalje pomeranje.

Komponente

2.1 Protokoli

2.1.1 Tastatura - PS2 protokol

U izradi projekta, protokol PS2 je korišćen za komunikaciju tastature i FPGA pločice. Tastatura je korišćena za kretanje nišana (tasteri *W*, *A*, *S*, *D*) i za ispaljivanje rakete (taster *SPACE*). Izgled šeme dat je na slici 2.1, a opis naznačenih mreža je dat u tabeli 2.1.1. Dve planete u sistemu, svaka svojim nišanom, imaju mogućnost nezavisnog ispaljivanja po jedne rakete. Svaki igrač ima svoju tastaturu povezanu svaka na svoju *FPGA pločicu*¹.



Slika 2.1: PS2 protokol

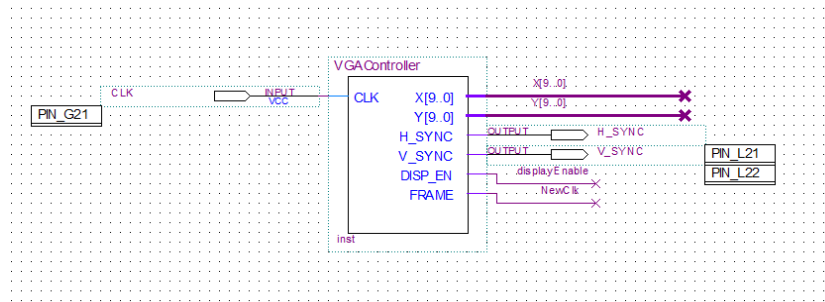
¹FPGA pločica korišćena u izradi projekta je tipa *Cyclone III* koja poseduje samo jedan ulaz za PS2 protokol

Broj	Opis komponente	Komentar
1	<i>KeyboardInterface</i> komponenta učitava kod pritisnutog tastera na tastaturi i prosleđuje ga kroz linije <i>KeyCode_{7..0}</i> . Pored toga šalje se i signal <i>read_end</i> koji označava kraj čitanja signala sa tastature.	Ova komponenta je standardna komponenta čitanja koda pritisnutog tastera. Šema je preuzeta iz literature predmeta: Osnovi računarske tehnike 2 [1].
2	<i>KeyDetector</i> komponenta na osnovu koda pritisnutog tastera (<i>KeyCode_{7..0}</i>) vraća informaciju koji je taster pritisnut, kao i informaciju da li je kod za otpuštanje tastera, <i>F0</i> , pritisnut. Od interesa su samo tasteri <i>W</i> , <i>A</i> , <i>S</i> , <i>D</i> , <i>SPACE</i> koji redom znače kretanje nišana (<i>GORE</i> , <i>LEVO</i> , <i>DOLE</i> , <i>DESNO</i>), odnosno komandu ispaljivanja rakete.	Kodovi tastera su preuzeti iz literature predmeta: Osnovi računarske tehnike 2 [1].
3	Sekvencijalna mreža koja pamti da li je u prethodnom taktu detektovan kod za otpuštanje tastera, <i>F0</i> .	Ova mreža daje informaciju da li je u prethodnom taktu taster pritisnut, a u ovom otpušten.
4	Kombinaciona mreža koja detektuje da li je potrebno da se nišan u sledećem taktu pomeri na dole (signal <i>newDown</i>). Ukoliko je taster <i>S</i> pritisnut u ovom taktu, ili je taster već bio pritisnut, signal je aktivan.	Postoji ekvivalentna kombinaciona mreža i za ostala 3 tastera (smera).
5	U registru se čuvaju informacije u kom smeru nišan treba da se pomeri u sledećem taktu i da li je aktiviran taster za pucanje.	-
6	Kombinaciona mreža na svoje izlaze šalje signale pritisnutih tastera na tastaturi.	U ovoj šemi su izlazni signali povezani na pinove <i>FPGA</i> pločice koji služe za komunikaciju sa spoljašnjim hardverom.

Tabela 2.1: Tabela opisa komponenti sa slike 2.1

2.1.2 Monitor - VGA protokol

U izradi projekta, VGA protokol je korišćen za komunikaciju monitora i *FPGA* pločice. Standardni protokol je preuzet iz literature predmeta: Osnovi računarske tehnike 2 [2]. Blok je dat na slici 2.2.

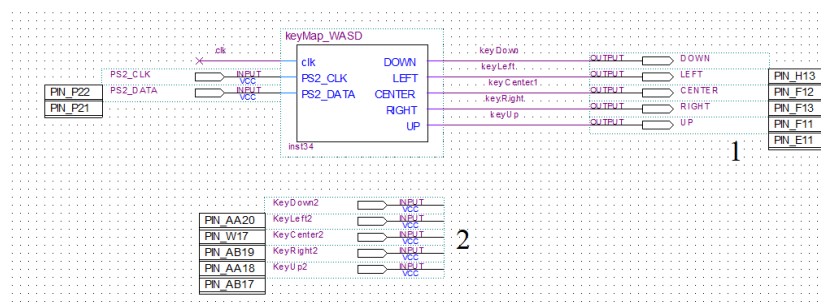


Slika 2.2: VGA protokol

Dodatak standardnoj šemi je u tome što se pored standardnih signala izračunava i signal *FRAME*, koji je aktivan jedino kada se vrši iscrtavanje piksela sa koordinatama ($800px, 600px$). Ovaj signal će predstavljati signal *clock*-a koji će biti korišćen u obradama pomeranja planeta, nišana i raketa, kao i u obradi svih vrsta sudata. Ovaj signal je aktivan kada je cela slika (svi vidljivi pikseli) iscrtani i služi za virtualnu sinhronizaciju.

2.1.3 Spajanje dve *FPGA* pločice

Kao što je već navedeno u sekciji 2.1.1, tip pločice koji je korišćen u projektu sadrži samo jedan ulaz za tastaturu. Korišćene su dve pločice, tako da svaki igrač ima svoju tastaturu i "svoju" pločicu. Glavna pločica, pored obrade pomeranja nišana jednog igrača - planete (*PS2* protokol), sadrži i obradu iscrtavanja cele mape i računanja trajektorije planeta i raketa ... Sporedna pločica sadrži samo program za obradu *PS2* protokola, koji na izlaze šalje signale (*DOWN, LEFT, SPACE, RIGHT, UP*). Njeni izlazi predstavljaju pinove za spoljašnju komunikaciju hardvera. Glavna pločica sadrži ulazni set pinova, koji primaju signale poslate od strane sporedne pločice. Na slici 2.3 su prikazani signali za oba igrača. Prva planeta dobija svoje signale direktno sa glavne pločice, dok druga planeta dobija signale preko sporedne pločice.



Slika 2.3: Šema dobijanja signala za pokretanje nišana i ispaljivanje rakete za obe planete

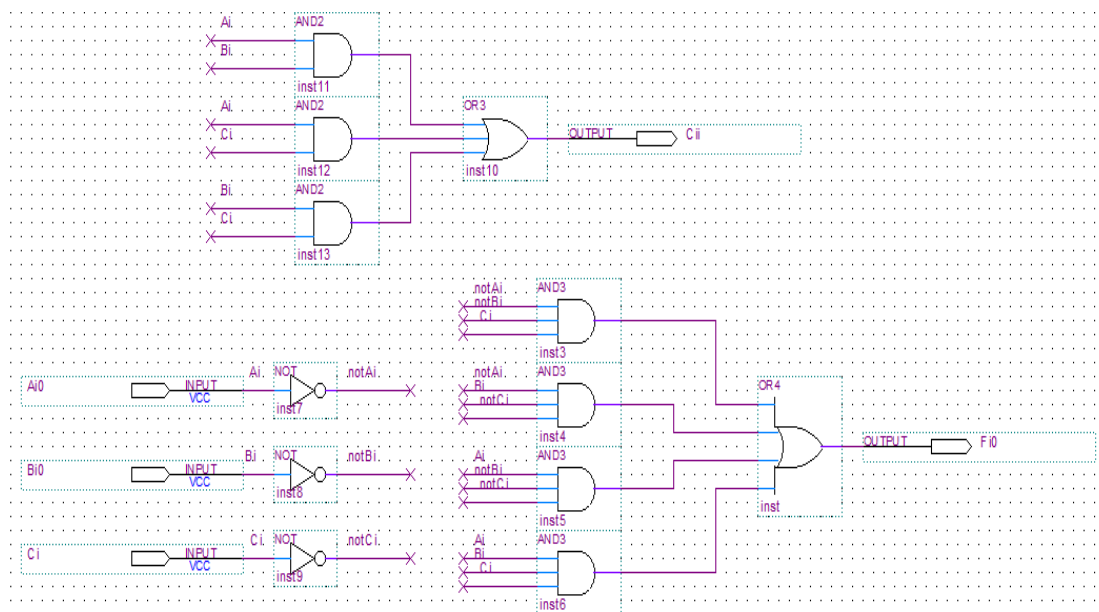
Na slici 2.3 su brojevima prikazani signali za pokretanje nišana i ispaljivanje raketa, i to brojem 1-pinovi sa glavne pločice, dok su pinovi 2-pinovi koji se generišu na sporednoj pločici i šalju se glavnoj, opisanim protokolom.

2.2 Logičke komponente

2.2.1 Sabiranje

Jednobitno sabiranje

Osnovna jedinica sabiranja je sabiranje dva jednobitna broja. Kombinaciona mreža za sabiranje preuzeta je iz literature predmeta Osnovi računarske tehnike 1: [3] i [4], i prikazana je na slici 2.4:

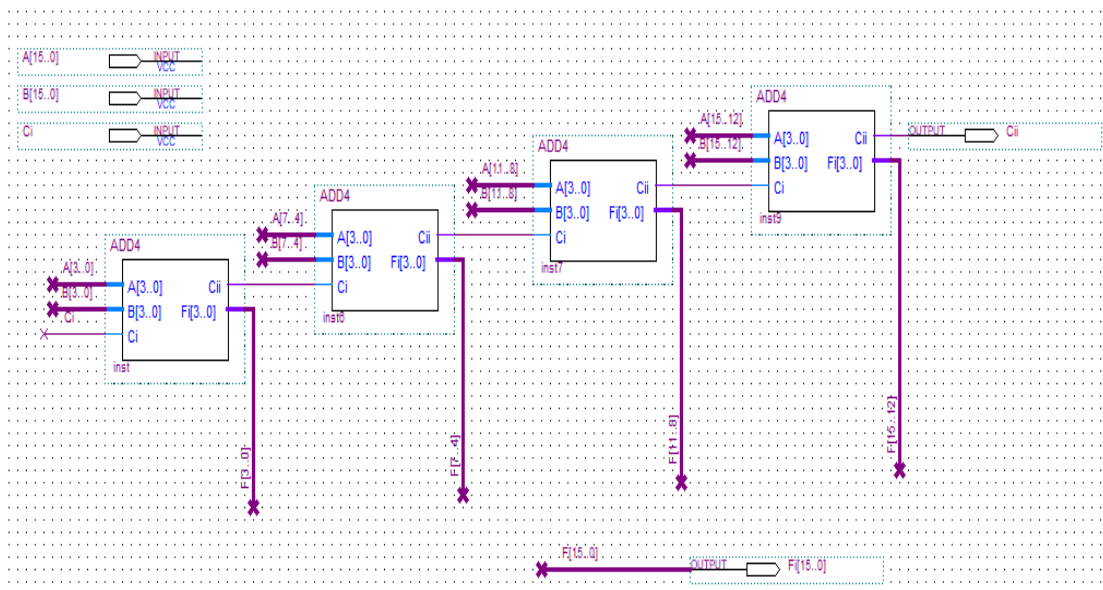


Slika 2.4: Kombinaciona mreža jednobitnog sabirača

Višebitno sabiranje

Radi preciznosti izračunavanja, potrebno je sabirati 16-bitne brojeve, odnosno kombinacione mreže koja sabira dva 16-bitna označena broja. Na osnovu šeme jednobitnog sabirača, slika 2.4, dobija se kombinacioni modul *ADD1*, uvezivanjem četiri takva sabirača dobija se kombinacioni modul *ADD4*, čijim uvezivanjem, koje je prikazano na slici 2.5, dobija se kombinacioni modul *ADD16*, koji se dalje koristi u svim izračunavanjima.

Ulaz u kombinacionu mrežu sabirača *ADD16* su dva 16-bitna broja i bit prenosa iz nižih razreda (postoji radi konzistentnosti sa šemama višebitnih sabirača, a inače se u sabiranju 16-bitnih brojeva postavlja na 0). Sabiranjem odgovarajućih 4-bitnih parova, pomoću kombinacione mreže *ADD4*, delova brojeva dobijaju se 4-bitni parcijalni rezultati, čijom kombinacijom se dobija 16-bitni rezultat.

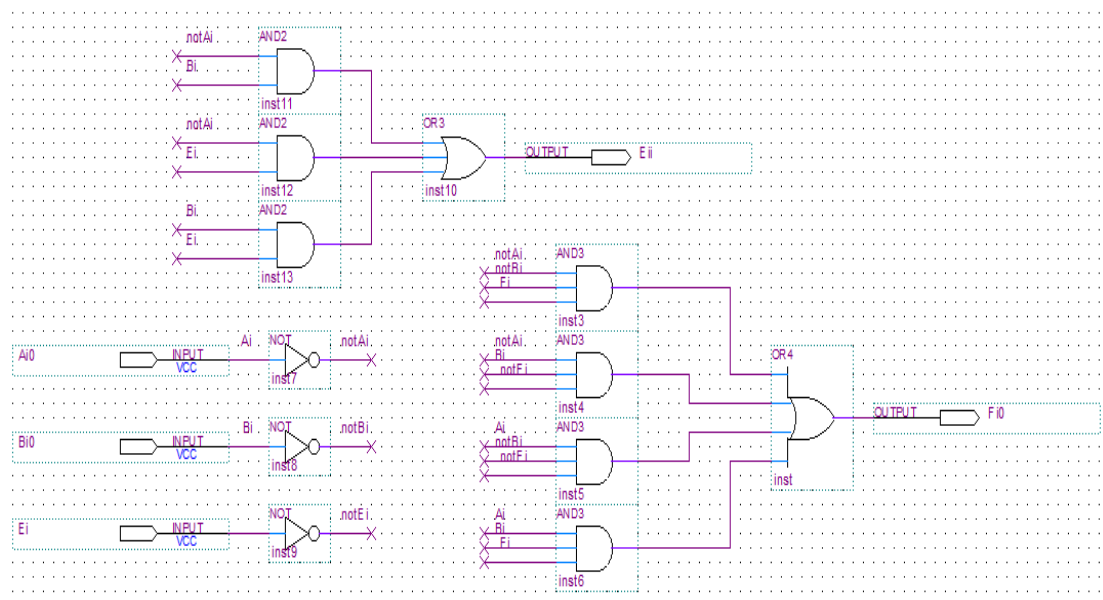


Slika 2.5: Kombinatorna mreža 16-bitnog sabirača

2.2.2 Oduzimanje

Jednobitno oduzimanje

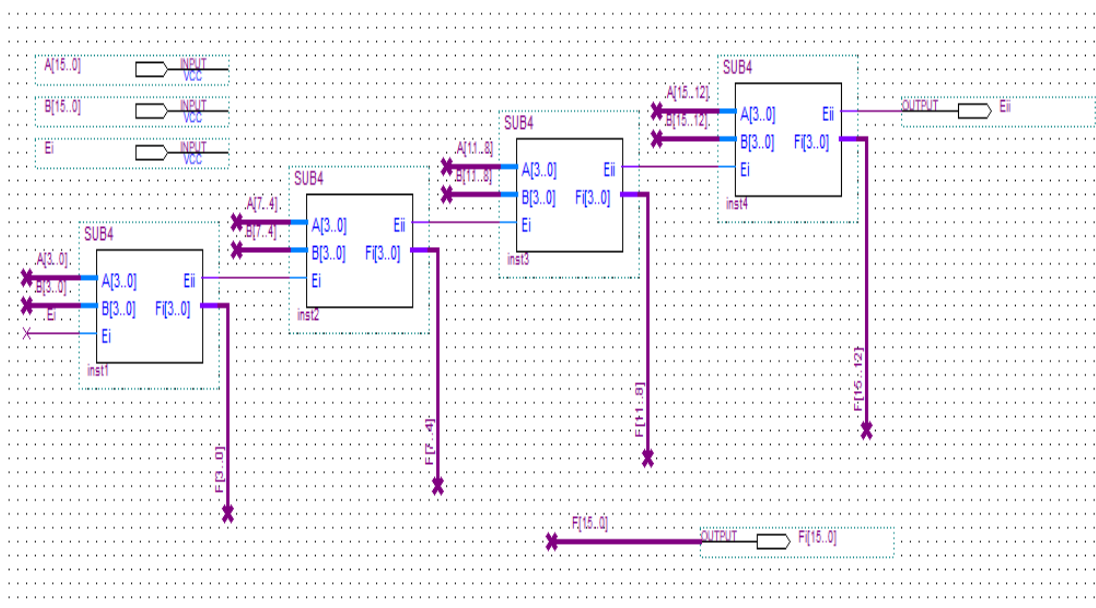
Osnovna jedinica oduzimanja je oduzimanje dva jednobitna broja. Kombinatorna mreža za oduzimanje preuzeta je iz literature predmeta Osnovi računarske tehnike 1: [3] i [4], i prikazana je na slici 2.6:



Slika 2.6: Kombinatorna mreža jednobitnog oduzimača

Višebitno oduzimanje

Radi preciznosti izračunavanja, potrebno je oduzimati 16-bitne brojeve, odnosno kombinacione mreže koja oduzima dva 16-bitna označena broja. Na osnovu šeme jednobitnog oduzimača, slika 2.6, dobija se kombinacioni modul *SUB1*, uvezivanjem četiri takva oduzimača dobija se kombinacioni modul *SUB4*, čijim uvezivanjem, koje je prikazano na slici 2.7, dobija se kombinacioni modul *SUB16*, koji se dalje koristi u svim izračunavanjima.



Slika 2.7: Kombinaciona mreža 16-bitnog oduzimača

Ulaz u kombinacionu mrežu oduzimača *SUB16* su dva 16-bitna broja i bit pozajmice (postoji radi konzistentnosti sa šemama višebitnih oduzimača, a inače se u oduzimanju 16-bitnih brojeva postavlja na 0). Oduzimanjem odgovarajućih 4-bitnih parova, pomoću kombinacione mreže *SUB4*, delova brojeva dobijaju se 4-bitni parcijalni rezultati, čijom kombinacijom se dobija 16-bitni rezultat.

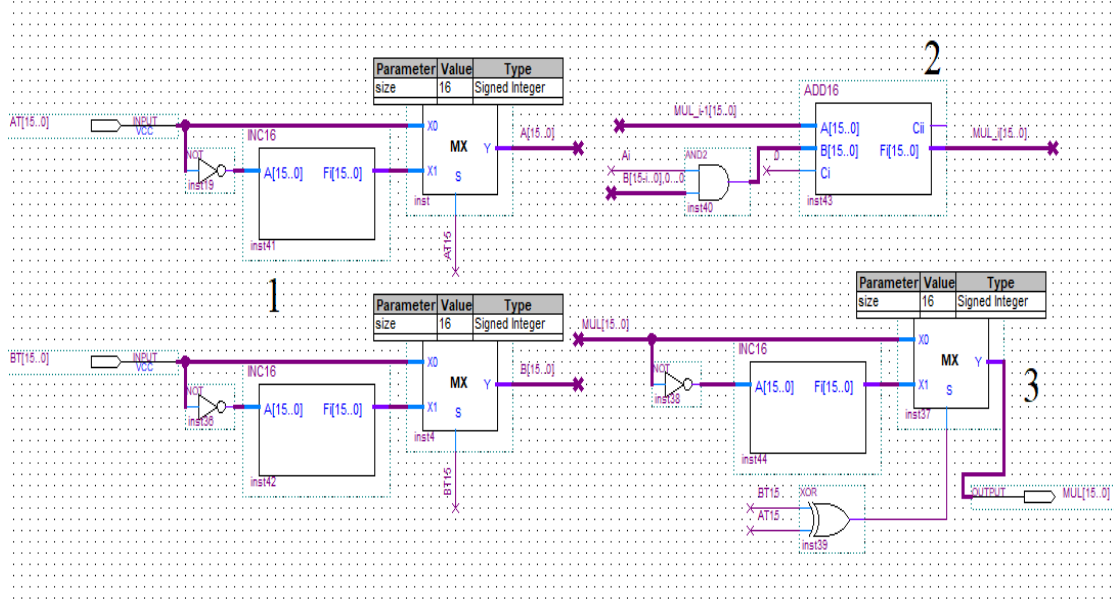
2.2.3 Množenje

Kombinaciona mreža 16-bitnog množača predstavljena je na slici 2.8. Ulaz u kombinacionu mrežu su dva označena 16-bitna broja $A_{15..0}$ i $B_{15..0}$. Aritmetika množača je zasnovana na neoznačenim brojevima, tako da se na početku brojevi, ukoliko su negativni prebace u pozitivne². Taj deo je prikazan na slici pod brojem 1. Na kraju izračunavanja se znak broja veštački generiše³ na isti način kao i sa ulaznim brojevima,

²Za ovo je korišćena kombinaciona mreža *INC16* koja inkrementira 16-bitni broj. Jednobiitni inkrementer je preuzet iz literature predmeta Osnovi računarske tehnike 1: [3] i [4]

³Ukoliko su brojevi oba pozitivna ili oba negativna, rezultat ostaje pozitivan, dok ako su brojevi različitog znaka, rezultat se predstavi u drugom komplementu

što je prikazano pod brojem 3.



Slika 2.8: Kombinaciona mreža i -te iteracije 16-bitnog množača

Deo slike 2.8 pod brojem 2, predstavlja pseudorekurzivni prikaz ćelije koja računa vrednost rezultata nakon i -te iteracije. Signal $MUL_{15:0}^{(i-1)}$ predstavlja rezultat iz $i - 1$ iteracije. Vrednost rezultata u nultoj iteraciji, $MUL_{15:0}^{(0)}$, je 0. U i -toj iteraciji se množi bit A_i sa vrednošću operanda B , šiftovanog za i mesta u levo ($B_{(15-i):0}, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{i \text{ puta}}$).

Rezultat i -te iteracije se dobija kao:

$$MUL_{15:0}^{(i)} = MUL_{15:0}^{(i-1)} + A_i \cdot B_{(15-i):0}, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{i \text{ puta}}$$

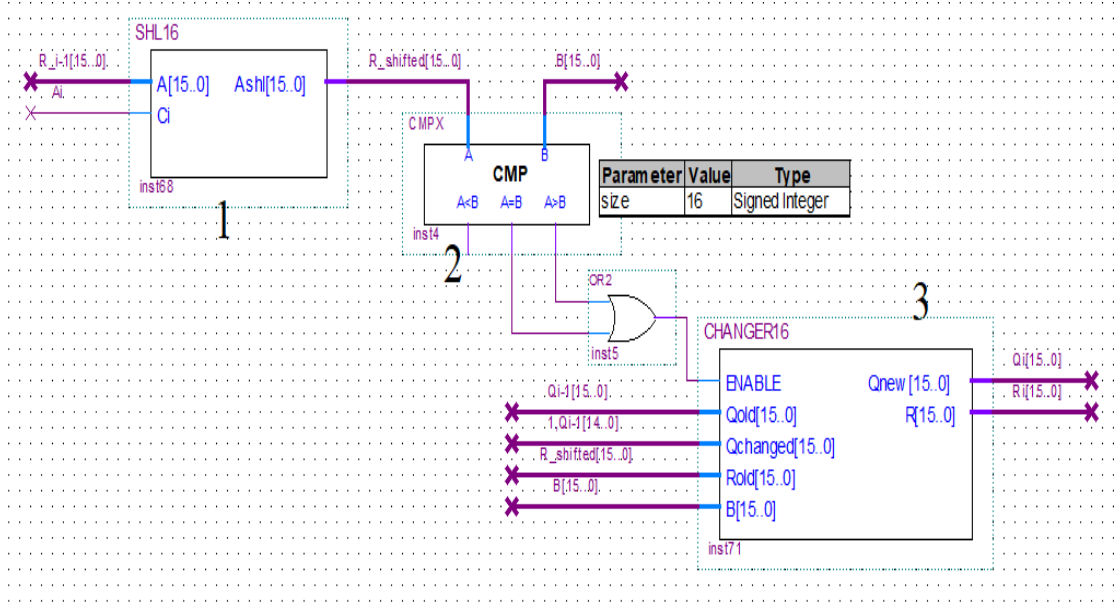
U šemi kombinacionog množenja postoji 16 ćelija koje su povezane na red i nezavisno od signala takta računaju rezultat.

2.2.4 Deljenje

Kombinaciona mreža deljenja dva 16-bitna broja predstavljena je na slici 2.9. Ulaz u kombinacionu mrežu su dva označena 16-bitna broja $A_{15:0}$ i $B_{15:0}$. Aritmetika je, kao i kod množača, zasnovana na neoznačenim brojevima, tako da se brojevima uzme apsolutna vrednost, dok se rezultatu znak na veštački način doda, na isti način kao i kod množenja⁴.

Na početku algoritma se i količnik i ostatak postave na nulu. Na slici 2.9 je prikazana pseudorekurzivna ćelija koja računa vrednost i -tog bita količnika, i ažurira ostatak.

⁴Kombinaciona mreža primenjena na ulazne podatke je data delom 1, a za rezultat data delom 3, slike 2.8



Slika 2.9: Kombinaciona mreža i -te iteracije 16-bitnog delitelja

Deo 1 predstavlja kombinacionu mrežu koja šiftuje ostatak za 1 bit u levo, a na mesto nultog bita se postavlja bit A_i ($R_{15..0}^{\text{shifted}} = R_{14..0}^{(i-1)}, A_i$). Proverava se da li je tako dobijeni ostatak veći od delioca $B_{15..0}$ (deo 2 na slici 2.9), i ukoliko jeste količnik i ostatak se ažuriraju:

$$Q_{15..0}^{(i)} = Q_{15..i+1}^{(i-1)}, 1, Q_{i-1..0}^{(i)} \quad (2.1)$$

$$R_{15..0}^{(i)} = R_{15..0}^{\text{shifted}} - B_{15..0} \quad (2.2)$$

Ažuriranje količnika i ostatka, odnosno implementacija izraza 2.1 i 2.2, data je delom 3 slike 2.9, odnosno kombinacionim blokom *CHANGER16*.

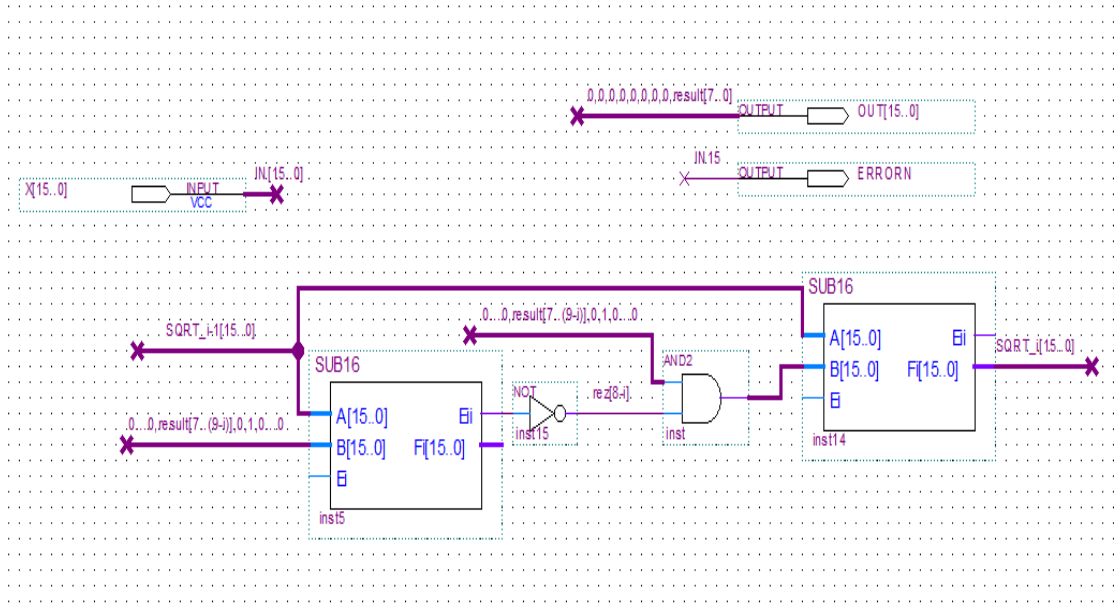
2.2.5 Kvadratni koren

Kombinaciona mreža za izračunavanje kvadratnog korena 16-bitnog broja predstavljena je na slici 2.10. Ulaz u kombinacionu mrežu je 16-bitni broj $X_{15..0}$, a izlaz je 8-bitni rezultat $result_{7..0}$, proširen nulama sa leve strane tako da u konačnom izlaz mreže bude 16-bitni. Pored njega izlaz mreže je i signal *ERRORN* koji je aktivan ukoliko je potkorena veličina negativan broj.

Polazi se od činjenice da svaki parni stepen dvojke⁵ predstavlja potpun kvadrat, tj. njegov koren je ceo broj bez ostatka. Rezultat $i - 1$ iteracije je označen sa $SQRT_{15..0}^{(i-1)}$, rezultat i -te iteracije je označen sa $SQRT_{15..0}^{(i)}$, dok se tekući rezultat računa po formuli:

$$TMP_{15..0} = \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{i-1 \text{ puta}}, result_{7..9-i}, 0, 1, \underbrace{0, 0, \dots, 0}_{16-2i \text{ puta}}$$

⁵ $1 = 2^0; 4 = 2^2; 16 = 2^4; \dots$



Slika 2.10: Kombinaciona mreža i -te iteracije kombinacionog kvadratnog korena

U i -toj iteraciji se proverava mogućnost oduzimanja tekućeg rezultata od rezultata $i - 1$ -ve iteracije. To se postiže proveravanjem bita pozajmice (E bit). Rezultat i -te iteracije se računa na osnovu sledećeg izraza:

$$SQRT_{15..0}^{(i)} = \begin{cases} SQRT_{15..0}^{(i-1)} - TMP_{15..0} & , E = 0 \\ SQRT_{15..0}^{(i-1)} & , E = 1 \end{cases} \quad (2.3)$$

Na poziciji $8 - i$ rezultata se postavlja bit po sledećoj relaciji:

$$result_{8-i} = \bar{E}$$

Kao i kod množenja, na slici 2.10 je priložena i pseudorekurzivna šema ćelije i -te iteracije računanja kvadratnog korena. Svaka ćelija implementira formulu 2.3 za $i \in 1, 2 \dots 8$. 8 ćelija je povezano na red i nezavisno od signala takta računaju kvadratni koren 16-bitnog broja.

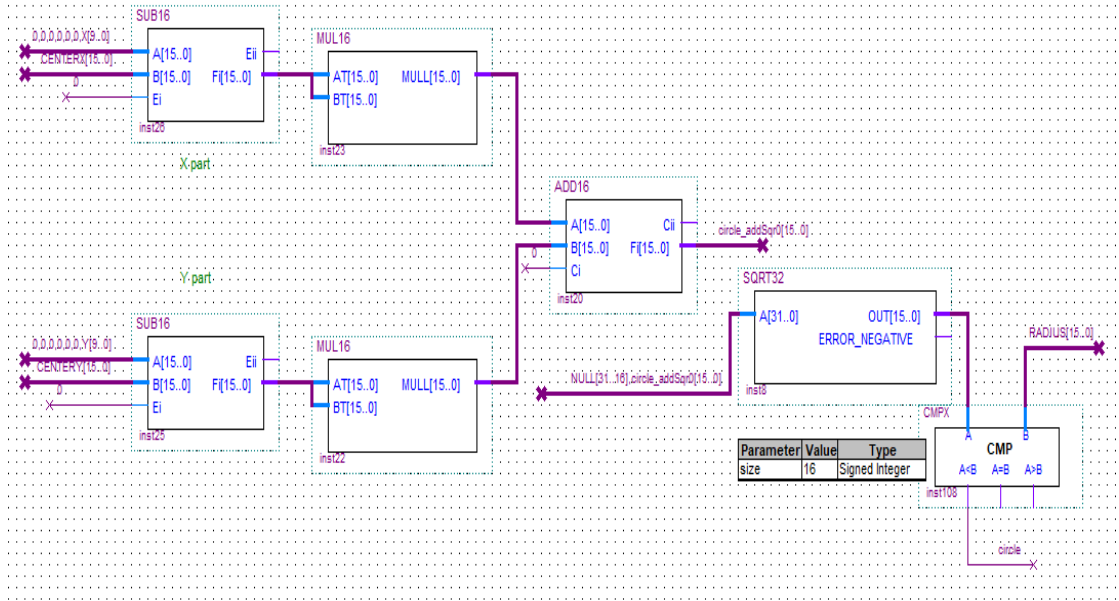
2.3 Iscrtavanja

2.3.1 Krug

Zvezda i planete u sistemu su sve kružnog oblika, pa je potrebno iscrtati krug. Iscrtava se tako što se oblast u unutrašnjosti ispuni bojom. Unutrašnjost kruga predstavlja oblast za koju važi:

$$\sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} < r \quad (2.4)$$

gde je (x_c, y_c) pozicija centra, a r je poluprečnik kruga.



Slika 2.11: Implementacija jednačine kruga

Za iscrtavanje kruga je potrebno proveriti da li se piksel na poziciji $(X_{9..0}, Y_{9..0})^6$, koji se trenutno iscrtava, nalazi u granicama kružnice, centra $(CENTERX_{9..0}, CENTERY_{9..0})$ sa prečnikom $RADIUS_{15..0}$, ispunjavajući uslov jednačine 2.4.

2.3.2 Senka

Planete su u sistemu predstavljene tako da rotiraju oko zvezde po kružnicama, pri čemu je strana bliža zvezdi obojena bojom planete, dok je zadnja strana u senci. Ukoliko je rastojanje pozicije piksela koji se iscrtava od centra mape:

$$d_{gun} = \sqrt{(X_{9..0} - 400px)^2 + (Y_{9..0} - 300px)^2}$$

veći od rastojanja centra planete od centra mape⁷:

$$d_{planet} = \sqrt{(CENTERX_{9..0} - 400px)^2 + (CENTERY_{9..0} - 300px)^2}$$

tada se deo planete u senci boji bojom 4 puta manjeg intenziteta od boje planete.

2.3.3 Kružni prsten

Prilikom iscrtavanja nišana potrebno je iscrtati kružni prsten, koji se iscrtava tako da se oblast u unutrašnjosti prstena ispuni bojom, odnosno da je zadovoljena relacija:

$$r_{in} < \sqrt{(x - x_c)^2 + (y - y_c)^2} < r_{out} \quad (2.5)$$

⁶Radi postizanja adekvatne tačnosti prošireno je na 16 bitova

⁷Čime se imitira krug poluprečnika jednakom tom rastojanju

gde je (x_c, y_c) pozicija centra, a r_{in} i r_{out} poluprečnici spoljašnjeg i unutrašnjeg kruga kružnog prstena, respektivno. Iscrtavanje se postiže sa dve šeme, kao na slici 2.11, gde je jedna šema za unutrašnji poluprečnik, a druga za spoljašnji. Odnos unutrašnjeg i spoljašnjeg poluprečnika je $\frac{1}{2}$.

2.4 Sudari

Prilikom bilo kakvog kontakta rakete sa planetom, ili zvezdom, detektuje se sudar. Obrada sudara nastupa tek nakon iscrtavanja celokupne mape, odnosno tek kada je signal *FRAME* aktivan⁸.

Svaka od komponenti poseduje signale za iscrtavanje (*valid*), čijom aktivacijom se naznačava crtanje odgovarajuće komponente. Detekcija sudara se zasniva na činjenici da se na istoj poziciji, $(X_{9..0}, Y_{9..0})$, nalaze delovi dve različite komponente, odnosno da su im signali za iscrtavanje aktivirani⁹.

U okviru obrade sudara, javlja se i preračunavanje životnih poena. Prilikom sudara rakete (koja pripada jednoj planeti) i druge planete, broj životnih bodova se smanjuje za konstantu vrednost od $50hp$ po pogotku.

2.5 Crtanje životnih poena

Svaka planeta poseduje početnu vrednost životnih poena u iznosu od $500hp$. Na ekranu se iscrtava *health bar* sa gradijentom boja od zelene do žute. Na ekranu je prikazano trenutno stanje "zelenih" životnih poena ($currentHP/500hp$). Pored zelenih, postoje i crveni životni poeni koji se prikazuju samo prilikom smanjenja zelenih životnih poena¹⁰.

Definiše se vektor boje kao $\overrightarrow{color} = (color_R, color_G, color_B)$, i on se računa po formuli:

$$\overrightarrow{color} = \left(15 - \frac{550 - Y_{9..0}}{34}, 15, 0 \right) \quad (2.6)$$

gde je $Y_{9..0}$ vertikalna koordinata piksela koji se trenutno iscrtava.

Prilikom sudara rakete i planete¹¹, zeleni životni poeni planete se smanjuju za konstantnu vrednost, $50hp$, dok se crveni životni poeni smanjuju postepeno, od stare (pre sudara) ka novoj vrednosti. Ukoliko se pre izjednačavanja vrednosti zelenih i crvenih životnih poena javi pogodak, donja granica za crvene poene se automatski smanjuje.

⁸Ukoliko bi se sudar obradio odmah nakon detekcije, moguća je situacija u kojoj se jedan deo učesnika sudara iscrtava ispravno, a drudi na pozicijama gde se ne očekuje

⁹Za sve komponente je definisan prioritet iscrtavanja, pa je tako crna pozadina najmanjeg prioriteta; zvezda i planete su manjeg prioriteta od nišana ...

¹⁰Uloga crvenih životnih poena je imitacija ranjenog stanja i čisto je estetske prirode

¹¹ $valid_{bullet1} = valid_{planet2}$ ili $valid_{bullet2} = valid_{planet1}$

Elementi sistema

3.1 Zvezda

Zvezda je predstavljena kao objekat u centru mape ($400px$, $300px$), oko koga se planete kreću. Zvezda se ne pomera iz početne pozicije. Boja zvezde varira od centra ka spoljašnjosti, ne bi li se dobio efekat sjaja. Zvezda se iscrtava tako što se iscrtavaju 4 kruga različitih boja i poluprečnika, na način opisan u delu 2.3.1. Veličina zvezde, odnosno njen poluprečnik, korišćen u daljim izračunavanjima je $20px$. Boje slojeva zvezde su prikazane u tabeli 3.1

Boja	$r < 9px$	$9px \leq r < 12px$	$12px \leq r < 16px$	$16px \leq r < 20px$
R	15	15	15	15
G	15	14	10	7
B	8	3	1	0

Tabela 3.1: Tabela boja slojeva zvezde

3.2 Planete

3.2.1 Opis planeta u sistemu

U sistemu postoje dve planete, kružnog oblika. Pozicije planeta su ($400px$, $209px$), odnosno ($400px$, $110px$), a poluprečnici su $10px$, odnosno $20px$, respektivno. "Zraci svetlosti", koji potiču od zvezde, obasjavaju samo prednji, bliži zvezdi, deo planete, tako da se javlja i efekat senke na zadnjoj strani. Prednje strane su obojene, (B , B , 8) - manja, dok je (4 , A , E) - veća planeta. Iscrtavanje planete predstavlja iscrtavanje kruga zadatog poluprečnika sa dodatkom iscrtavanja senke na zadnjoj strani, postupcima opisanim u poglavljima 2.3.1 i 2.3.2.

3.2.2 Kretanje planeta

Napomena: Sve veličine korišćene u poglavlju 3.2.2 su 16-bitni označeni celi brojevi!

Obe planete se kreću po kružnim putanjama poluprečnika:

$$trajectoryRadius = \sqrt{(CENTERX - 400px)^2 + (CENTERY - 300px)^2}$$

Planeta ima perifernu brzinu kretanja po kružnici, u oznaci v , čiji se intenzitet ne menja u toku vremena. Intenziteti brzina planeta se računaju po formuli:

$$v = \frac{-1 + \sqrt{1 + 8 \cdot trajectoryRadius}}{2} \quad (3.1)$$

odakle se dobijaju brzine 13, odnosno 19, redom za svaku planetu. Početni položaj planete je predstavljen vektorom položaja $\overrightarrow{position} = (CENTERX, CENTERY)$, a početna promena vektorom $\overrightarrow{\Delta position} = (\Delta position_X, \Delta position_Y) = (v, 0)$, gde se v dobija iz jednačine 3.1. Komponente vektora promene pozicije planete se menjaju u sledećim granicama:

$$\Delta position_X \in \{-v, \dots, v\}$$

$$\Delta position_Y \in \{-v, \dots, v\}$$

U svakom trenutku se naredna pozicija planete računa preko izraza:

$$\overrightarrow{position} = \overrightarrow{position} + \overrightarrow{\Delta position}$$

Pošto je u određenim trenucima potrebno smanjivati, odnosno povećavati poziciju (po nekoj koordinati), potrebno je uvesti promenu promene pozicije planete. Iz tog razloga je uveden jednobitni vektor $\overrightarrow{\Delta \Delta position}$. Vektor promene pozicije se na osnovu njega računa kao:

$$\overrightarrow{\Delta position} = \begin{cases} \Delta position_I - 1 & , \Delta \Delta position_I = 0 \\ \Delta position_I + 1 & , \Delta \Delta position_I = 1 \end{cases}, I \in \{X, Y\}$$

Komponente vektora $\overrightarrow{\Delta \Delta position}$ se menjaju ($0 \rightarrow 1$ i $1 \rightarrow 0$) ukoliko odgovarajuća komponenta vektora $\overrightarrow{\Delta position}$ dostigne neku graničnu vrednost.

3.3 Nišan

Svaka planeta ima svoj nišan. Nišan je predstavljen kružnim prstenom spoljašnjeg poluprečnika $10px^{12}$. Za iscertavanje nišana je, pored spoljašnjeg poluprečnika, potrebna i pozicija centra. Početna pozicija centara oba nišana je $(400px, 300px)$. Boje

¹²Unutrašnji poluprečnik se automatski računa kao polovina spoljašnjeg, pa ga nije potrebno posebno izdvajati

nišana su $(F, 0, 0)$, koja odgovara manjoj planeti, i $(0, 0, F)$ koja odgovara većoj. Iscrtavanje nišana se vrši na način opisan u poglavlju 2.3.3. Nišan je moguće pomerati preko tastature aktiviranjem tastera W, A, S i D , uz moguću kombinaciju po dva. Nišan je moguće pomerati u četiri pravca, koji odgovaraju tasterima tastature kao: $(Gore, Levo, Dole, Desno) = (W, A, S, D)$.

3.4 Raketa

3.4.1 Opis rakete u sistemu

Pored tastera W, A, S, D , koji pokreću nišan, moguće je aktivirati i raketu, pritiskom na taster $SPACE$. Raketa je predstavljena krugom, poluprečnika $5px$, i uvek se stvara u centru planete koja je ispaljuje. Boja rakete je $(F, A, 0)$ i iscrtava se na način opisan u poglavlju 2.3.1.

3.4.2 Kretanje rakete

Otpuštanjem tastera $SPACE$ raketa se lansira tako da prati putanju od planete do nišana¹³.

Početni vektor pravca rakete je vektor $\overrightarrow{direction} = (x_{target} - x_{planet}, y_{target} - y_{planet})$, a početna pozicija rakete je $\overrightarrow{origin} = (x_{rocket}, y_{rocket}) = (x_{planet}, y_{planet})$. Naredna pozicija rakete se računa po formuli:

$$\overrightarrow{position} = \overrightarrow{origin} + \frac{x}{10} \cdot \overrightarrow{direction}; x \in 1, \dots, 10 \quad (3.2)$$

u kojoj $\overrightarrow{position}$ predstavlja trenutnu poziciju rakete. Tokom 10 frejmova¹⁴ (vrednost x se menja od 1 do 10) raketa se pomera. Kada x postane 10, koriguje se početna pozicija rakete, $\overrightarrow{origin} = \overrightarrow{origin} + \overrightarrow{direction}$ i izračunavanje se ponavlja (x postaje 1).

Kada raketa pogodi suparničku planetu, na način obrađen u poglavlju 2.4, raketa prestaje da postoji i javlja se gubitak životnih bodova pogođene planete, što se odražava na *health bar*, koji se menja u skladu sa poglavljem 2.5. Ukoliko se raketom pogodi sunce, raketa se uništava bez posledica. Planete imaju svojstvo da je u jednom trenutku mogu imati samo jednu raketu, tj. kada se ispali naredna (drugim pritiskom na taster $SPACE$), prva raketa se dezintegriše.

¹³Pod planetom i nišanom se smatraju njihovi centri

¹⁴Signala *FRAME*

Mane trenutnog rešenja

Prilikom iscrtavanja nišana javljaju se vertikalne linije, koje se ne popunjavaju bojom. Razlog za pojavljivanje ovih linija mogu biti kašnjenja u izračunavanju, usled komplikovane šeme. Sva izračunavanja se dešavaju u istom taktu, pa je moguće da prava vrednost boje, za neku poziciju $(X_{9..0}, Y_{9..0})$ ne bude izračunata.

Usled "zračenja" zvezde, zadnja strana planete je osenčena. Realna situacija koja se može desiti je da se planete nađu jedna ispred druge i tako deo prednje strane dalje planete bude u senci koju proizvodi planeta bliža zvezdi. U sistemu koji je urađen, taj slučaj nije uzet u obzir, i bliža planeta ne proizvodi senku na daljoj.

Način izračunavanja trajektorije rakete, dat formulom 3.2, se zasniva na postepenom ispravljanju trajektorije rakete tako da se ona poklopi sa pravom koja spaja centre planete, koja ispaljuje raketu, i nišana. Usled takvog načina izračunavanja, brzina rakete zavisi od trenutne pozicije centra nišana, i to udaljavanjem nišana od planete se brzina rakete povećava. U slučaju velikih brzina rakete može se desiti da raketa peskoči planetu, odnosno detekcija sudara nije moguća.

Budući koraci

Smanjenje radijusa planete usled pogotka: Usled pogotka rakete, broj životnih poena planete se smanjuje. Mogućnost smanjenja radijusa planete bi značila da, kada planeta izgubi veliki broj svojih životnih poena, teže ju je pogoditi, i uništiti do kraja.

Životni poeni zvezde: Kada raketa pogodi zvezdu, ne dešava se ništa više sem nestajanja rakete. Uvođenjem života zvezde, koja bi imala svoj, horizontalni, *health bar*, na vrhu ekrana, bi se igrači obavezali da preciznije ispaljuju rakete. Posledice uništenja zvezde mogu biti zaustavljanje igre i gubitak igrača koji je uništio zvezdu. Drugi scenario se ogleda u tome da su planete gravitaciono vezane. Kada zvezda nestane planete se, usled očuvanja momenta implulsa, kreću po pravoj liniji, konstantnom brzinom, u pravcu vektora periferne brzine nastalom u tom trenutku.

Senka nastala usled poravnanja planeta: Usled prelaska bliže planete preko diska zvezde koji obasjava dalju planetu, na daljoj planeti se javlja senka [Problem opisan u sekciji *Mane projekta: 4*].

Dirigovana rotacija planeta: Planete rotiraju u direktnom smeru različitim brzinama. Može se uvesti taster na tastaturi, čijim bi se aktiviranjem, smer rotacije planete obrnuo.

Postojanje resursa: Trenutni sistem dozvoljava jednu raketu u jednom trenutku vremena, ali takođe dozvoljava neograničen broj raketa. Uvođenjem koncepta resursa bi se broj mogućih raketa ograničio. Početna količina obrađenih resursa na planeti je dovoljna za određenu količinu raketa. Ukoliko se resursi čuvaju, brzina prikupljanja i obrade novih resursa je veća (raste sa količinom obrađenih resursa), ali je planeta izložena napadima. Sa druge strane nedostatkom resursa proizvodnja raketa je nemoguća.

Bonus životni poeni: Gubitak životnih poena je nenadoknadiv. Može se uvesti koncept bonus životnih poena. Njihovo pojavljivanje bi se javilo u radnom trenutku na random mestu. Igrač koji svojom raketom pogodi bonus, prikuplja ga i povećava svoje životne poene.

Bibliografija

- [1] Osnovi računarske tehnike 2. Ps2 protokol. 2019.
- [2] Osnovi računarske tehnike 2. Vga protokol. 2019.
- [3] J. Đorđević; Z. Radivojević; M. Punt; Ž. Stanisavljević. Osnovi računarske tehnike. *Akadska misao, Beograd, 2017.*
- [4] J. Đorđević; Z. Radivojević; D. Drašković; Ž. Stanisavljević; M. Punt; K. Milenković. Osnovi računarske tehnike: prekidačke mreže - zbirka rešenih zadataka. *Akadska misao, Beograd, 2016.*