Laboratório de Sistemas Digitais

Ano Letivo 2020/21

Proposta de Projeto Final

Projeto nº 4 – Jogo "Descobre o número" (versão 1)

1. Introdução

O objetivo deste trabalho é modelar em VHDL e testar na FPGA um sistema digital capaz de jogar o jogo "descobre o número". Neste jogo o ser humano escolhe um número de 0 a 99 e o sistema tenta descobrir esse número fazendo uma ou mais tentativas. Em cada tentativa, a informação que recebe é ou que acertou, caso em que o jogo acaba, ou que o valor tentado é ou demasiado grande ou demasiado pequeno.

2. Descrição geral do funcionamento

As principais especificações do sistema são as seguintes (omissões nestas especificações, por exemplo, o comportamento dos *leds* vermelhos em alguns estados, devem ser completadas pelos alunos da maneira que entenderem):

1. Ligando o jogo deve aparecer nos 8 displays de 7 segmentos durante 10 segundos e a piscar com uma frequência de 1Hz o texto "**GUESS_n1**". Se quiser, pode substituir os *underscores* ('_') por espaços (' '), e esta substituição também pode ser feita nos itens 2, 4 e 7. Os *leds* vermelhos também ficam a piscar.
2. Depois o jogo entra na fase em que fica à espera do comando para começar um jogo novo. Nesta fase os displays devem mostrar o texto "**GruPo_XX**" (sem piscar, mas a rodar; em cada segundo, roda-se o texto um carater para a esquerda), sendo XX o número do grupo. Quando se carrega no botão **KEY[0]** o jogo começa (aqui o ser humano deve escolher um número de 0 a 99).
3. Durante o jogo, os dois displays do lado esquerdo devem mostrar o número de tentativas já feitas. Os dois displays seguintes mostram a escolha feita pelo sistema do número a tentar.
4. Existem três respostas possíveis por parte do ser humano: "**_Hi_**", "**_Lo_**" e "**_==_**", respetivamente se a tentativa for maior, menor, ou igual ao número escolhido pelo ser humano. A resposta é selecionada carregando no botão **KEY[1]** as vezes que forem necessárias até aparecer a resposta pretendida. Sempre que se carrega nesse botão o texto que aparece nos 4 displays do lado direito deve passar para a resposta seguinte ("**_Hi_**" »»» "**_Lo_**" »»» "**_==_**" »»» "**_Hi_**" e assim por diante).
5. Quando se carrega no botão **KEY[2]** a resposta é processada pelo sistema.
6. Se a resposta for "**_==_**" o jogo termina, os displays com o número de tentativas e com a escolha (certa) feita devem ficar a piscar com uma frequência de 2Hz, e os leds vermelhos devem mostrar um padrão aleatório que muda com uma frequência de 8Hz. Carregando no botão **KEY[3]** o jogo deve voltar para o estado do item 2.
7. Caso contrário, o sistema incrementa o número de tentativas, calcula a nova tentativa e volta para o estado 3. No entanto, se a resposta do ser humano for impossível, o jogo fica num estado especial, em que mostra nos 8 displays o texto "**_CHEAtEr**" a

piscar com uma frequência de 4Hz. Se isso acontecer, carregando no botão **KEY[3]** o jogo deve voltar para o estado do item 2.

8. Deverá existir um sinal de RESET global ligado a **SW[0]** que coloca o jogo no estado inicial (item 1).

Podem existir desvios a estas especificações, acordadas entre os alunos e o seu professor.

3. Alguns detalhes

Internamente, o número de dois algarismos e o número de tentativas (máximo de 99) têm de ser representados em binário (7 bits). Para os mostrar nos displays de sete segmentos será preciso converter cada um deles para dois algarismos **BCD** (**B**inary **C**oded **D**ecimal, isto é, cada um dos algarismos é guardado em 4 bits). Por exemplo, o resultado da conversão para BCD do número 15 (0001111 em binário) é 0001 0101. A conversão binário para BCD **tem** de ser feita por uma entidade sem recorrer a divisões e a restos de divisões, usando uma máquina de estados. Uma especificação possível dessa entidade é

```
entity bin_to_bcd_fsm is
  port  ( -- bin_input = 10 * digit1 + digit0
    bin_input : in  std_logic_vector(6 downto 0);
    activate  : in  std_logic;
    digit1    : out std_logic_vector(3 downto 0);
    digit0    : out std_logic_vector(3 downto 0);
    done      : out std_logic);
end bin_to_bcd_fsm;
```

e uma sua arquitetura poderá ter uma máquina de estados com os seguintes estados:

1. Estado inicial (**`idle`**): fica à espera de um sinal de ativação
2. Quando a ativação é aceite copia-se o número a converter para um sinal interno, inicializa-se o algarismo das dezenas do resultado a zero e passa-se para o estado **`subtrai10`**.
3. No estado **`subtrai10`** verifica-se se o número interno é maior ou igual a 10 e se assim for subtai-se 10 ao número interno, incrementa-se o algarismos das dezenas e continua-se no mesmo estado. Caso contrário passa-se para o estado final.
4. No estado final (**`finish`**), colocam-se nos portos de saída o algarismo das dezenas e os 4 bits menos significativos no número interno (que terá de ter o algarismo das unidades), e ativa-se, durante um ciclo de relógio, o porto de saída **done** para indicar que a conversão foi feita. O estado seguinte a este será o estado inicial.

Recomenda-se que esta entidade seja convenientemente simulada. (Para 17 valores: acrescente os estados **`subtrai50`** e **`subtrai20.`**)

Pode ser usado o seguinte algoritmo para calcular as escolhas feitas pelo sistema:

1. Quando começa o jogo, `lo=0` e `hi=99`.
2. A escolha é `middle=(lo+hi+1)/2`.
3. Se a resposta for "**`_Hi_`**", ou seja, se a escolha for um número grande de mais, então faz-se `hi=middle-1`.

4. Se a resposta for "**_Lo_**", ou seja, se a escolha for um número pequeno de mais, então faz-se `lo=middle+1`.
5. Mas, se depois de se ter ajustado ou `lo` ou `hi` se tiver `lo>hi` (cuidado, `hi` pode ser igual a -1) então o ser humano fez batota e o jogo deve mostrar "**_CHEAtEr**".
6. Se a escolha não for a certa, volta-se ao item 2.

Numa outra variante usa-se o gerador de números aleatórios para efetivar a escolha, mas, obviamente, sempre dentro do intervalo `[lo,hi]`.

4. Implementação

A implementação deste trabalho deve ser baseada em máquinas de estado e sugere-se uma estratégia faseada (cada fase deve corresponder a um novo projeto no Quartus), de acordo com a descrição que se segue:

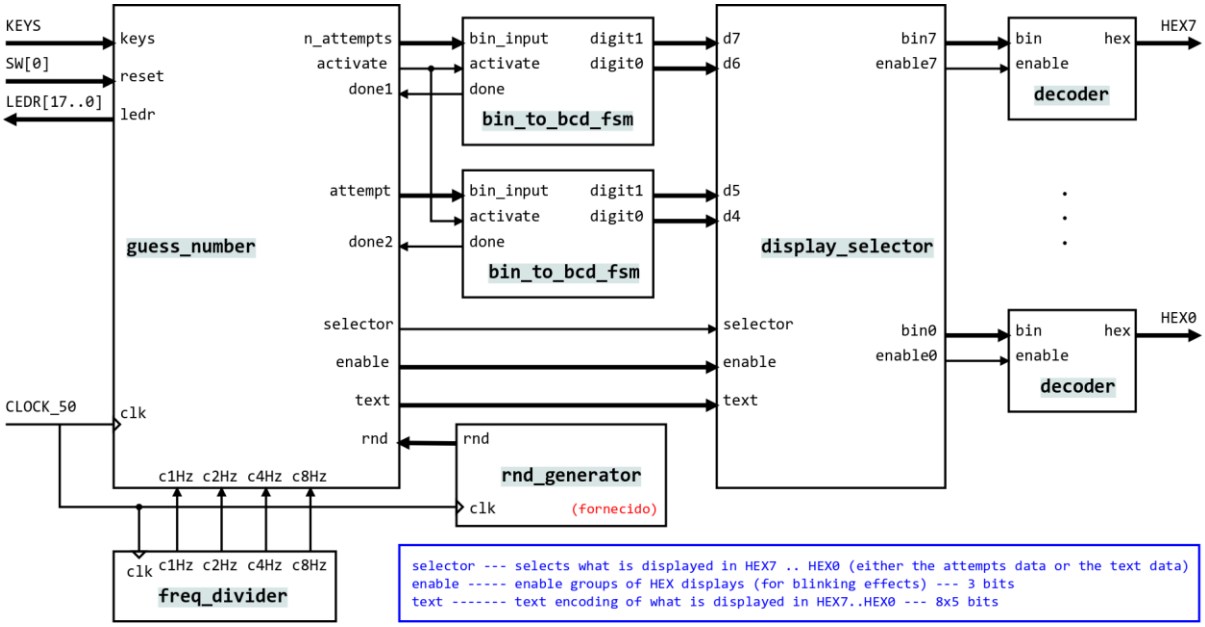
Fase 1 (14 valores): Implementação do jogo sem pôr os displays a piscar, sem detetar situações impossíveis, e sem pôr os *leds* vermelhos com um padrão aleatório no item 6.

Fase 2 (3 valores): Pôr tudo a funcionar (incluindo ter a máquina de estados do jogo à espera das ativações do sinal **done** dos conversores de binário para BCD antes de continuar) e pôr todos os leds a piscar (segundo as especificações dadas pelo professor para o seu grupo) quando se acerta no número. Deverá também ser possível escolher o modo como a próxima tentativa é escolhida: tal como especificado acima, ou usando um valor eleatório pertencente ao intervalo `[lo,hi].` O geredor de números aleatórios gera um novo número em cada ciclo de relógio: espere até ser gerado um número dentro do intervalo pretendido. Use o switch **`SW[1]`** para escolher o modo de funcionamento do sistema.

5. Requisitos para obtenção de classificações superiores a 17 valores

Para se obter classificações mais elevadas o que aparece nos displays de sete segmentos deve aparecer também no display LCD e/ou deve-se ser produzido um som quando se carrega em cada um dos botões.

Nota: O top-level deverá ser implementado preferencialmente com recurso a representação estrutural em VHDL (a figura na página seguinte apresenta um diagrama de blocos possível para o *top level* do sistema).


KEYS
SW[0]
LEDR[17..0]
keys
reset
ledr
guess_number
n_attempts
activate
done1
attempt
done2
selector
enable
text
rnd
CLOCK_50
clk
c1Hz c2Hz c4Hz c8Hz
bin_input
activate
done
digit1
digit0
bin_to_bcd_fsm
bin_input
activate
done
digit1
digit0
bin_to_bcd_fsm
rnd
rnd_generator
clk
(fornecido)
clk c1Hz c2Hz c4Hz c8Hz
freq_divider
d7
d6
bin7
enable7
d5
d4
selector
enable
text
bin0
enable0
display_selector
bin
enable
hex
decoder
HEX7
bin
enable
hex
decoder
HEX0
selector --- selects what is displayed in HEX7 .. HEX0 (either the attempts data or the text data)
enable ----- enable groups of HEX displays (for blinking effects) --- 3 bits
text ------- text encoding of what is displayed in HEX7..HEX0 --- 8x5 bits