

Teclado Musical

Relatório Final — Grupo F02

Lucas Baganha Galante — 182364

Luciano Zago — 182835

18 de junho de 2018

1 Enunciado

O teclado musical simula o comportamento de um instrumento, tocando uma nota para cada tecla pressionada no mesmo. O projeto deve suportar pelo menos duas oitavas, sustentar a nota enquanto a tecla estiver pressionada e permitir ao menos duas vozes (duas teclas pressionadas ao mesmo tempo). É necessário um hardware específico (buzzer) que será fornecido pelo professor.

2 Teoria

Escalas musicais consistem em sete notas com frequências distintas além de cinco notas sustenidas. As escalas são repetidas em oitavas, sendo cada oitava o dobro da frequência da anterior, deste modo variando entre graves a agudos. Tipicamente pianos modernos contém sete oitavas musicais mais uma terça menor totalizando 88 notas distintas [1].

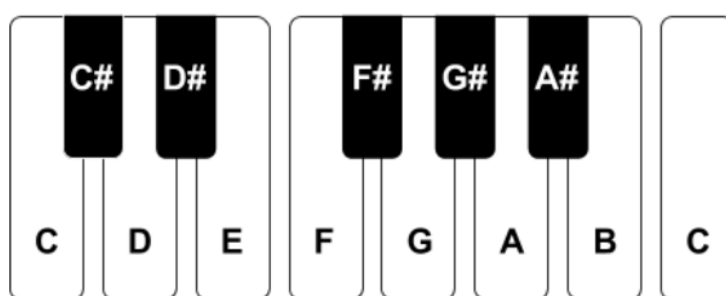


Figura 1: Notas de uma oitava do teclado musical e seus respectivos nomes.

As notas musicais do teclado são funções periódicas, neste caso da função seno - sendo esta a função periódica mais simples pois qualquer função periódica pode ser decomposta através da série de fourier em função seno. Em nosso projeto, a função seno possui uma amplitude fixa para todas as notas, sendo esta a intensidade do som, ou seja, o volume de uma nota é constante. As frequências por outro lado são variáveis, e é portanto a frequência que caracteriza a altura da nota (grave ou agudo).

O período de uma onda é o inverso de sua frequência, e contém as mesmas informações da onda. A unidade do período é segundo enquanto da frequência é Hertz, deste modo ao se trabalhar com tempo é preferível se utilizar o período ao invés da frequência, como foi realizado neste projeto.

Devido às propriedades intrínsecas da função seno, inúmeras ondas senoidais podem ser combinadas para formar uma única onda, esta propriedade é conhecida como interferência sonora. No nosso projeto, foi utilizado a onda senoidal pura como aproximação da onda real do teclado.

3 Diagrama de Blocos

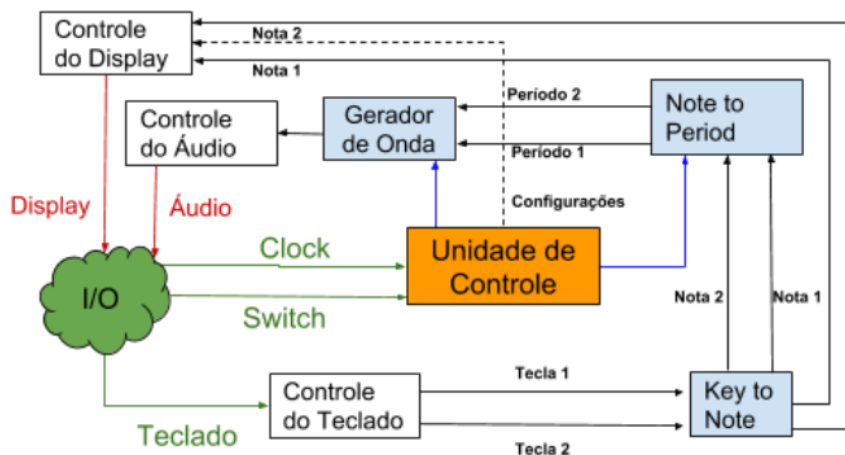


Figura 2: Diagrama de blocos do teclado musical.

4 Descrição do Sistema

O teclado musical foi projetado para que os blocos apresentados no diagrama representassem um ou mais componentes do sistema. Cada bloco e seus componentes são descritos abaixo.

4.1 I/O

Teclado: As notas do teclado musical são acessíveis através do teclado PS2 disponíveis em sala e são distribuídas de maneira representada na figura 3. O sistema foi configurado de modo a permitir que duas notas possam ser tocadas simultaneamente, combinando seus sons.

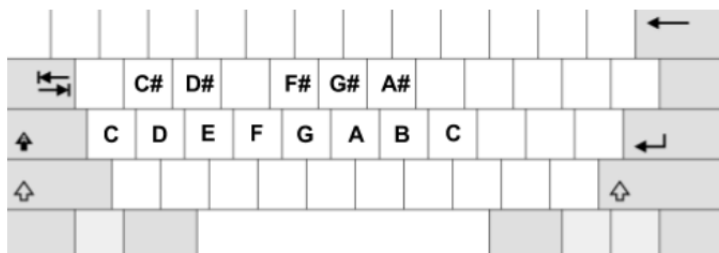


Figura 3: Posição das notas nas teclas do teclado.

Switches: Devido ao tamanho limitado do teclado, sendo possível ter apenas uma oitava exibida por vez, foram utilizados os switches da placa para representar as oitavas. O sistema comporta quatro oitavas distintas, acessíveis através dos dois primeiros switches (SW0 e SW1), em funcionamento binário.

Clock: O clock é a principal ferramenta de sincronização do sistema, através do CLOCK_50 todos os processos do sistema foram sincronizados. O clock possui também importância para geração das ondas senoidais do sistema, pois é utilizado para determinar o período das notas musicais.

Display de sete segmentos: O display de sete segmentos exibe ao usuário quais as notas sendo tocadas naquele instante, podendo variar entre nenhuma a duas notas simultaneamente. As notas são dispostas da seguinte maneira: nota 1 - display HEX0 e HEX1, nota 2 - display HEX2 e HEX3. É disposto também a oitava selecionada no display HEX5.

Áudio: O áudio é transmitido para a saída de áudio P2 da placa, que pode conectar caixas de som ou fones de ouvido. O áudio é gerado através de um sampling da onda senoidal para o audio_codec, que efetivamente gera o som.

4.2 Controle do Teclado

O controle do teclado foi realizado com uso dos códigos base, kbdex_control e ps2_iobase, fornecidos como material complementar dos laboratórios. Através destes códigos pudemos identificar as teclas pressionadas no teclado.

O componente ps2_iobase é um módulo controlador do protocolo PS2, referente à conexão do teclado na placa. Ele é utilizado pelo componente kbdex_control, que fornece os scancodes de até 3 teclas pressionadas simultaneamente no teclado. Em nosso projeto, somente analisamos as 2 primeiras teclas pressionadas. Esse componente forneceu os parâmetros key_code, com os scancodes das teclas (código de referência para a tecla) e key_on, bits que sinalizam se as teclas estão sendo pressionadas.

4.3 Key to Note

Esse bloco representa o componente scan2note que implementa um decodificador que transforma o valor do scancode da tecla em um integer referente à nota, de acordo com a figura 3. Sua entrada é exatamente a saída do componente que controla o teclado: key_code e key_on. A saída é um integer de 0 a 13. Quando é pressionada uma tecla inválida ou nenhuma tecla é pressionada, a saída note é 0.

4.4 Note to Period

Note to period é formado por apenas um componente de mesmo nome (note2period), este tem como objetivo transformar a nota tocada em um período para que ocorra o sampling [2].

Recebe como entrada a nota tocada naquele instante. Através de um decodificador de 13:1 de notas para período é selecionado qual o período correto da onda para a oitava base. O período da onda será responsável para determinar a velocidade de reprodução do sampling da mesma, diferenciado as notas.

Os períodos utilizados no decodificador foram descobertos através do seguinte cálculo:

$$periodo = \frac{clock_base}{tamanho_sample \times frequencia_nota}$$

4.5 Unidade de Controle

A unidade de controle é o bloco principal do sistema, responsável pela chamadas aos demais componentes, sincronização destes e comunicação dos periféricos. É formada por um único componente - main_board.

Nele são realizadas todas as operações de entrada e saída (bloco I/O) e chamadas a todos os outros blocos descritos - desde receber a nota do teclado até tocar o som. Deste modo a unidade de controle possui todas as informações e as distribui e sincroniza. Em seu único processo as informações sobre a onda e taxa de sampling são enquadradas em um vetor lógico, audio_data, que é transmitido ao controle de áudio onde sai o som.

Todos os componentes descritos anteriormente realizam a conversão de uma tecla em um período, que é posteriormente usado para gerar o som, da seguinte forma:

Tabela 1: Conversão de tecla para período base.

Tecla	Nota	Representação numérica	Período base
-	-	0	0
a	C	1	187
w	C#	2	176
s	D	3	166
e	D#	4	157
d	E	5	148
f	F	6	140
t	F#	7	132
g	G	8	125
y	G#	9	118
h	A	10	111
u	A#	11	105
j	B	12	99
k	C	13	93

4.6 Gerador de Onda

O bloco de geração da onda é formado por dois componentes responsáveis por determinar o período da onda e a partir disso determinar a taxa de sampling da nota.

Sine_wave representa uma tabela de consulta de onda senoidal¹ com 4096 pontos e amplitude de 2^{22} . A amplitude é a intensidade do áudio e foi definida experimentalmente como valor ideal assim como o número de pontos, para produzir uma onda contínua sem ruídos. Dado um índice de 0 a 4095 é selecionado uma amplitude através de um decodificador de 4096:1.

Em clk_div é definido qual a velocidade de sampling de uma determinada onda. Recebe como entrada o CLOCK_50 do sistema, o período base da nota e também a oitava. Realiza a operação: $pulsos = \frac{periodo_base}{2^{oitava}}$, que determina quantos pulsos de clocks serão necessários para ocorrer um sampling de determinada nota. A saída é simplesmente um std_logic que é igual a '1' quando puder ocorrer um sampling da nota passada.

4.7 Controle de Áudio

O bloco de controle de áudio é formado por códigos de apoio como audio_codec e audio_and_video_config, além de outros presentes na pasta AudioComponents/, e também pela por partes da main board - descrita em maior detalhes no bloco de unidade de controle.

Em clk_div é determinado a velocidade de sampling das notas e a partir disso através da amplitude gerada em sine_wave é gerada o sampling da nota na main_board. Este sampling denominado audio_data é a soma das amplitudes de cada nota e é passado via port map para os componentes de áudio auxiliares. Estes componentes enviam os sinais necessários para a saída de áudio da placa onde é possível ouvir o som com um fone de ouvido.

4.8 Controle do Display

É exibido no display de sete segmentos quais as notas tocadas em um determinado momento (máximo de 2) e qual oitava foi selecionada. As notas e oitavas são exibidas em hexadecimal através dos códigos: note2hex e octave2hex.

¹<http://www.daycounter.com/Calculators/Sine-Generator-Calculator.phtml>

note2hex recebe quais as notas tocadas e através de decodificadores exibe em HEX0 e HEX1 ou HEX2 e HEX3 caso seja a nota dois, o símbolo da nota (C,D,E,F,G,A,B) no primeiro display e se é sustenida (S) no segundo.

Octave2hex é similar, recebe a oitava selecionado e exibe no display HEX5 o número da oitava de 1 a 4.

5 Conclusão

Esse projeto permitiu conhecer as noções físicas de um teclado musical e reproduzi-lo para funcionar em uma placa FPGA, com entrada em um teclado de computador e a saída em um dispositivo de áudio. Dentre os desafios encontrados, pode-se lembrar da escolha das oitavas que seriam utilizadas e da escolha do tamanho da lookup table, para que permitisse manter a qualidade sonora em diferentes frequências reproduzidas pelo áudio. Todavia, o projeto foi concluído de forma modularizada e com o funcionamento total esperado.

Referências

- [1] D. a Música, “Notas musicais,” <http://www.descomplicandoamusica.com/notas-musicais/>.
- [2] F. Iazzetta, “Tabela de frequências, períodos e comprimentos de onda,” <http://www2.eca.usp.br/prof/iazzetta/tutor/acustica/introducao/tabela1.html>.