

Luciano Rodrigues Lucio Neto

Desenvolvimento de um *drum pad* usando visão artificial

Brasil

9 de junho de 2019

Luciano Rodrigues Lucio Neto

Trabalho de Conclusão de Curso
Submetido à Coordenação do
Curso de Engenharia de Compu-
tação e Automação do Centro de
Tecnologia da Universidade Fe-
deral do Rio Grande do Norte,
como parte dos requisitos necessá-
rios para a obtenção do grau de
Engenheiro de Computação.

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Coordenação do Curso de Engenharia de Computação e Automação - DCA
Graduação em Engenharia de Computação

Orientador: Agostinho de Medeiros Brito Júnior

Brasil
9 de junho de 2019

Resumo

Apresenta o desenvolvimento de um *drum pad* usando visão artificial capaz de controlar sintetizadores musicais virtuais criando uma sequência de notas musicais em repetição. Instrumentos assim são muito usados por músicos amadores que precisam criar acompanhamentos de bateria ou baixo para suas composições e não dispõem de músicos auxiliares para fazê-lo. A ferramenta criada permite que, usando apenas uma webcam, uma folha de papel e software livre, um músico amador seja capaz de criar efeitos semelhantes aos de um drum pad físico desenhando ou sobrepondo pequenas fichas coloridas na folha de papel.

Palavras-chaves: Drum pad, sequenciador, controlador midi, OpenCV, Visão artificial

Abstract

*Introduces the development of a drum pad utilizing artificial vision capable of controlling virtual synthesizers creating a sequence of musical notes on loop. Instruments like these are commonly used by amateur musicians artist who need to generate drums or bass support to their compositions and couldn't find other musicians to support it. The developed tool allows that with only a webcam, one paper sheet and open source software, an amateur musician artist can be able to replicate similar effects of a physical drum pad while drawing or overlapping small tokens over the paper sheet. **Keywords:** Drum pad, sequencer, midi controller, openCv, artificial vision*

Lista de Figuras

3.1	Área central de uma folha	4
3.3	<i>Midi Item</i> na DAW Reaper	6
4.1	Dinâmica em notação musical e seus respectivos valores para a mensagem <i>Note On</i>	8
4.2	Controladores controlados a partir da mensagem <i>Control Change</i>	9
5.1	Exemplos de marcadores ArUco	10
5.2	Modelo com círculos	11
6.1	Resultado de uma transformação de perspectiva em uma imagem	13
7.1	Folha com 4 batidas por folha e 16 notas por batida	14
7.2	Imagem capturada pela câmera com marcações de reconhecimento	15
8.1	Diagrama de fluxo entrada e saída MIDI	18

Sumário

1	Introdução	1
2	Modelo para Interpretação	3
3	Algoritmo	4
4	Protocolo MIDI	7
5	Marcadores ArUco	10
6	Transformação de Perspectiva	12
7	Como Utilizar o Software	14
8	Biblioteca RtMidi	17
9	Resultados	19
10	Conclusões	20

Capítulo 1

Introdução

Um *drum pad* é um periférico utilizados por músicos e entusiastas de música eletrônica de diferentes formas. Sua principal função é reproduzir sons escolhidos pelo usuário ao apertar de botões de sua interface e, dada a simplicidade de uso, é muito popular na comunidade de músicos sendo eles profissionais ou amadores.

Drum pads também são utilizados como uma forma de se programar uma sequência de sons que serão reproduzidos em um intervalos de tempo específico, servindo como acompanhamento musical com diversas aplicações, sejam elas para guiar um músico, acompanhar o ritmo com alguma percussão ou até reproduzir detalhes específicos que o usuário pode não conseguir no momento correto.

Apesar de ser um periférico de fácil utilização e de rápida adaptabilidade, ainda depende da capacidade do usuário em reproduzir as notas no tempo correto e principalmente da capacidade que o usuário tem em investir num equipamento do tipo, com investimentos que variam de cerca de 50 dólares, podendo chegar a mais de 600 dólares, dependendo do seu tamanho, sua funções, caracterísitcas, inovações e acabamento.

A proposta do projeto apresentado neste trabalho de conclusão de curso é facilitar a programação de uma sequência de sons que um usuário venha querer utilizar. Com apenas uma webcam de baixo custo, uma folha de papel e um programa de computador que utiliza conceitos de visão artificial, o usuário é capaz de programar, de forma interativa, uma sequência de sons em um sintetizador midi. A sequência será reproduzida em um tempo determinado a partir de marcações feitas na folha e sem depender, por exemplo, de suas próprias habilidades rítmicas.

No capítulo um será apresentado o modelo utilizado como referência para se utilizar o software apresentado neste trabalho, no capítulo seguinte o algoritmo que o software utiliza para reproduzir sons de acordo com o modelo. O capítulo seguinte explica conceitos básicos do Protocolo MIDI utilizados no desenvolvimento do software. O capítulo quatro apresenta os marcadores utilizados no modelo dde folha de papel, elementos cruciais para o funcionamento do software,, enquanto o capítulo seguinte explica como, a partir desses marcadores, o software aplica uma transformada de perspectiva da matriz da imagem caputrada pela câmera. No capítulo sete é explicado como se utilizar o software. No próximo capítulo estão conceitos da biblioteca RtMidi, utilizada para haver comunicação midi a partir do protocolo apresentado no capítulo três, enquanto os próximos dois capítulos discorrem, respectivamente, sobre resultados do software e conclusões tiradas ao final do desenvolvimento do projeto.

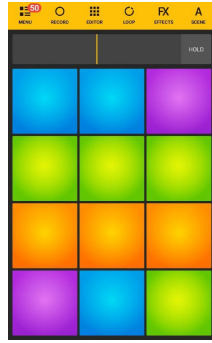
Capítulo 2

Drum Pads do mercado

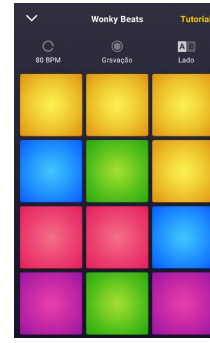
Os hardwares e softwares disponíveis no mercado, hoje, que serviram como referência para o desenvolvimento do software apresentado neste trabalho podem ser chamados de *drum pads*, *sample pads* ou *sampling pads*, os quais as principais diferenças são que, nos *sample* ou *sampling pads*, diferentemente dos *drum pads*, não há simulação apenas de instrumentos de percussão, mas também aceitam sons customizados, ou *samples*, e, por esse motivo, são bastante utilizados por DJ's.

Os preços dos hardwares, nos casos mais baratos, variam na faixa dos 50 ou 60 dólares podendo chegar, em casos de equipamentos mais voltados à profissionais, a um valor de 600 dólares ou mais. Já os softwares, disponíveis principalmente para smartphones modernos, encontrados de graça podendo chegar à faixa dos 30 dólares.

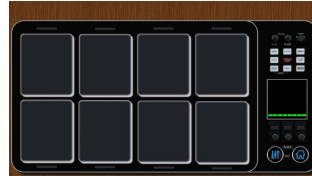
Devido à inviabilidade de serem testados hardwares do tipo descritos anteriormente por questões de preço e indisponibilidade em lojas físicas, foram testados três aplicativos disponibilizados de forma gratuita na *Play Store* da Google, disponível em smartphones com o sistema operacional Android. Os softwares foram os *Electro Music Drum Pads*, *Drum Pad Machine* - Crie música e *Drum Pad 24* - *Music Maker*. Abaixo é possível visualizar os menus principais de cada um dos três:



(a) *Drum Pad 24 - Music Maker*



(b) *Drum Pad Machine - Crie música*



(c) *Electro Music Drum Pads*

O aplicativo *Electro Music Drum Pads* é um *drum pad* e apresenta apenas uma interface para reprodução dos sons ao toque dos botões e uma outra interface para seleção de parâmetros de controle para reprodução dos sons como volume e compressão, já os outros dois analisados são *sample pads*. Ambos *Drum Pad Machine - Crie música* e *Drum Pad 24 - Music Maker* apresentam diversos pacotes de sons diferentes, sendo alguns gratuitos e outros pagos, com 24 sons diferentes em cada. Também possuem funcionalidades para programação de loop sendo um com 32 sons e outro com 24, gravação para armazenando do áudio gravado na memória oferecida pelo dispositivo que está executando o aplicativo e, no *Drum Pad 24 - Music Maker*, uma interface para controle de tom dos vinte e quatro sons. Apesar de aparentemente mais completo, o aplicativo *Drum Pad 24 - Music Maker* peca principalmente na interface para programação de repetições, apesar de ambos terem uma limitação de quantos sons podem ser programados em sequência.

O software desenvolvido neste trabalho tem como objetivo simular a função de programação de sequências desses aplicativos e, apesar das limitações físicas, dá mais probabilidades para o usuário, tornando mais livre a sua aplicação final, porém, por utilizar exclusivamente o protocolo MIDI para comunicação com softwares sintetizadores MIDI, não reproduz sons customizados, o que o torna um *drum pad* capaz de aceitar, além de bancos de simulação de percussão, bancos de simulação de instrumentos melódicos como piano, órgão, gaita, violão entre diversos outros.

De acordo com pesquisas feitas, mas apesar de não testados, os hardwares, principalmente

os mais caros e mais profissionais, sempre disponibilizam para o usuário um software próprio daquele hardware com bancos de sons pré selecionados e, em alguns casos, com formatos compatíveis com bancos disponíveis online para download, ou o próprio hardware já possui um banco interno com sons pré selecionados. Além disso, possuem interfaces de entrada e saída MIDI, o que torna possível serem utilizados como controladores MIDI padrão. Tendo em vista todas as possibilidades que os periféricos desse tipo dão para o usuário, eles certamente são a escolha mais certa para alguém que pretende utilizá-los de forma mais profissional, uma vez que são extremamente completos, porém o investimento será compatível com a qualidade do periférico e o software apresentado neste trabalho com desenvolvido para ser uma opção para um usuário que, tendo uma webcam, procura algo que solucione ao menos a questão de repetição de sons em sequência, além de ter outras aplicações discutidas durante os próximos capítulos deste documento.

Capítulo 3

O padrão MIDI

O Protocolo MIDI(??) é o padrão de comunicação em tempo real entre controladores e sintetizadores de sons existentes no mercado e está presente em uma grande quantidade de instrumentos musicais eletrônicos disponíveis no mercado. Ele define padrões de hardware e de software que estabelecem como dispositivos MIDI devem ser implementados de forma a se comunicarem entre si.

Um controlador MIDI é um dispositivo que não necessariamente produz algum tipo de som. Sua tarefa é a de preparar a sequência de notas musicais e suas durações e enviá-las ao sintetizador. Esse último, por outro lado, possui capacidades de produzir sons conforme os códigos MIDI recebidos de um sequenciador que é conectado a ele. Um controlador MIDI, por exemplo, pode ser criado na forma de um teclado, controlando um sintetizador que reproduz sons de uma bateria ou de voz humana.

O padrão MIDI estabelece um protocolo de comunicação universal, de sorte que independe do fabricante do sintetizador ou sequenciador quando estão conectados um ao outro. Apesar de bastante extenso e complexo, apenas partes de sua especificação foram utilizadas no projeto, de sorte que serão apresentados nesse documento as partes pertinentes ao desenvolvimento da ferramenta. Em se tratando do desenvolvimento de um software, apenas os detalhes envolvidos na troca de mensagens nos moldes do protocolo são apresentadas.

A parte do protocolo que define os padrões de software consiste na troca de "mensagens MIDI" entre o software ou hardware controlador, que controla as notas e suas durações, e o software ou hardware sintetizador, que sintetiza os sons.

Essas mensagens baseam-se em um conjunto de um ou mais bytes, onde o primeiro byte se classifica como STATUS byte, o qual define o tipo da mensagem, e é geralmente seguido por outros bytes chamados DATA bytes, os quais dão as características desejadas para a mensagem.

Existem diversos tipos de mensagens, mostradas na tabela (REFERENCIA TABELA) e de forma expandida na tabela (REFERENCIA TABELA), extraídas diretamente da The MIDI Association (www.midi.org), principal portal com informações do protocolo MIDI. Para o desenvolvimento do projeto foram utilizadas basicamente as mensagens chamadas Note ON e Note OFF, que especificam quando uma nota deve ser ativada e desativada.

Outras mensagens utilizadas, que são mensagens de configuração do canal MIDI, são as mensagens Control Change, enviada para o sintetizador, no caso deste software, apenas na inicialização do programa, a qual pode designar diversas ações diferentes para o sintetizador. Porém, no software apresentado neste trabalho, ela é utilizada apenas para controle de volume e a mensagem Program Change, a qual seleciona o identificador do instrumento que o sintetizador irá simular, enviada, neste software, assim como a Control Change, apenas na sua inicialização.

As mensagens de ativação e desativação do som são compostas por um conjunto de 3 bytes os quais são representados da seguinte forma:

- *A mensagem Note ON:*
 - *Status byte: 1001 nnnn*
 - *Data byte: 0kkk kkkk*
 - *Data byte: 0vvv vvvv*
- *A mensagem Note OFF:*
 - *Status byte: 1000 nnnn*
 - *Data byte: 0kkk kkkk*
 - *Data byte: 0vvv vvvv*

Onde os bits ‘nnnn’ representam o canal que esta mensagem controlará, variando entre 16 canais distintos, os bits ‘kkkkkk’ representam o pitch que será reproduzido e os ‘vvvvvvv’ representam a dinâmica com a qual a nota será reproduzida que, em notação musical, são representadas da seguinte maneira:

<i>pppp</i>	= 8
<i>ppp</i>	= 20
<i>pp</i>	= 31
<i>p</i>	= 42
<i>mp</i>	= 53
<i>mf</i>	= 64
<i>f</i>	= 80
<i>ff</i>	= 96
<i>fff</i>	= 112
<i>ffff</i>	= 127

Figura 3.1: Dinâmica em notação musical e seus respectivos valores para a mensagem *Note On*.

Essa velocidade de reprodução, dependendo do tipo de instrumento selecionado, também varia a dinâmica que o som é reproduzido como quando uma nota de um piano é pressionada de forma brusca ou mais suave.

Para as mensagens *Note OFF*, os bits *nnnn* e *kkkkkkk* representam o mesmo da mensagem de ativação da nota, sendo diferente apenas no terceiro byte, o *vvvvvvv*, que representa a velocidade de liberação do som, ou seja, a suavização até ele ser desligado.

A mensagem de alteração de valores dos controladores é representada da seguinte maneira:

- A mensagem *Control Change*:

- Status byte: 1000 *nnnn*
- Data byte: 0ccc *cccc*
- Data byte: 0vvv *vvvv*

Nessa mensagem, os bits ‘*nnnn*’ representam o canal para o qual a mensagem será enviada, da mesma forma das mensagens de ativação e desativação do som, ‘*cccccc*’ representa o controlador que terá o seu valor alterado e *vvvvvvv* representa o valor que será atribuído para o controlador. Os controladores controlados a partir dessas mensagens podem variar entre 128 controladores distintos sendo eles os seguintes:

7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0	7	6	5	4	3	2	1	0
1	0	0	0	n	n	n	n	0	c	c	c	c	c	c	c	0	v	v	v	v	v	v	v

Figura 3.2: Controladores controlados a partir da mensagem *Control Change*

Com essa mensagem é possível variar em cada canal desde variáveis de volume até variáveis de modulação e efeitos que caracterização como o som será reproduzido pelo sintetizador.

A última mensagem utilizada no software, a Program Change, é representada da seguinte maneira:

- *A mensagem Control Change:*

- *Status byte: 1100 nnnn*

- *Data byte: 0ppp pppp*

Onde ‘nnnn’ representa o número do canal para o qual a mensagem será enviada e ‘pppppppp’ representa o identificador do instrumento que será selecionado.

As mensagens que o software envia são sempre direcionadas ao canal um, menos quando o modo de simulação de bateria está ativado. Quando esse modo está ativado, o software envia as mensagens para o canal dez, o qual, por padrão, possui um banco de simulação de instrumentos de percussão ao invés de instrumentos melódicos nos sintetizadores midi.

Capítulo 4

Marcadores ArUco e seu papel na identificação do posicionamento do *drum pad*

A funcionalidade do software projetado nesta tese depende intrinsecamente da AOI (area of interest) do layout e, para se adquirir essa área de interesse da imagem inicial, uma das soluções mais comuns é a utilização de marcadores fiduciais quadrados binários. O principal benefício em se utilizar marcadores do tipo é de se obter, a partir dos quatro cantos de um único marcador, a camera pose, ou seja, tanto a orientação quanto a posição da câmera no ambiente.

No desenvolvimento deste projeto foi escolhido o módulo ArUco da biblioteca de visão artificial OpenCv para geração e identificação desses marcadores. O módulo ArUco é baseado na biblioteca ArUco, uma popular biblioteca utilizada para detecção de marcadores fiduciais quadrados, desenvolvida por Rafael Muñoz e Sergio Garrido, em aplicações de realidade aumentada.

A partir do módulo Aruco, pode-se gerar marcadores ArUco que consistem em marcadores quadrados compostos por uma larga borda da cor preta e uma matriz binária intrínseca ao marcador, que determina seu identificador. As bordas existem para facilitar a detecção do marcador em uma imagem e a codificação da matriz binária para permitir a detecção desse marcador com intuito de serem aplicadas outras técnicas de visão artificial. Abaixo temos alguns exemplos de marcadores ArUco:

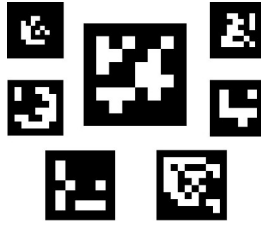


Figura 4.1: Exemplos de marcadores ArUco

Para a geração desses marcadores utilizando o código fornecido nos exemplos da utilização da biblioteca na sua documentação, é necessário informar o identificador do marcador e um dicionário dentre dezesseis diferentes, no qual o marcador está presente, além de, opcionalmente ser possível se informar o número de bits na borda do marcador, gerando uma borda maior ou menor, o tamanho do marcador, em pixels. O exemplo abaixo é um marcador criado a partir desse código utilizando, como parâmetros de entrada, dois bits dedicados para borda, dicionário `DICT_4X4_100`, identificador 10 e um tamanho de 50x50 pixels.

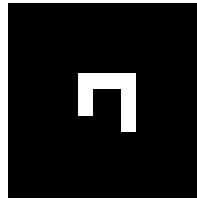
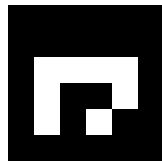
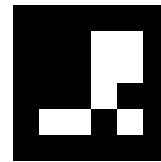


Figura 4.2: Marcador de identificador 10 presente no dicionário `DICT_4X4_100`

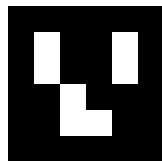
Para o software desenvolvido neste trabalho, os marcadores utilizados foram os de identificadores 1, 2, 3 e 4 do dicionário `DICT_4X4_250`, os quais podem ser vistos abaixo com mais clareza:



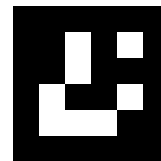
(a) Marcador do canto superior esquerdo dos modelos



(b) Marcador do canto superior direito dos modelos



(c) Marcador do canto inferior esquerdo dos modelos



(d) Marcador do canto inferior direito dos modelos

Já para detecção desses marcadores, utilizando a biblioteca de visão computacional OpenCv, é possível utilizar a função `detectMarkers`, a qual recebe como parâmetros a imagem de origem, o dicionário ao qual as marcas utilizadas pertencem, um vetor para armazenamento dos cantos dos marcadores, um vetor para armazenamento dos identificadores dos marcadores, um objeto da classe `DetectorParameters` e um vetor para armazenamento das imagens rejeitadas, ou seja, que foram classificadas como marcadores em algum ponto do algoritmo, porém descartadas num segundo momento pelo algoritmo da função.

O objeto da classe `DetectorParameters` tem valores padrão atribuídos a ele pelo construtor da classe, porém, se for necessário, é possível atribuir outros valores para os atributos do objeto, a fim de alterar a forma que o algoritmo faz essa detecção. Os passos seguidos, pelo algoritmo da função, para detecção das imagens são os seguintes: primeiramente é aplicado um *thresholding* adaptativo na imagem de origem, ou seja, um filtro com valores de limiar definidos. Após isso, há uma filtragem dos contornos presentes na imagem resultante do primeiro passo, que detectará os contornos presentes na imagem, porém nem todos os contornos são considerados marcadores. Os contornos são filtrados em passos intermediários, os quais descartam contornos os quais não são considerados marcadores a fim de otimizar o desempenho da detecção, pois, a partir desse ponto, os passos subsequentes geralmente têm maior custo computacional. Com os contornos e candidatos a marcadores detectados, o algoritmo verifica se esses candidatos realmente são marcadores ou não fazendo uma extração dos bits presentes em cada candidato. Na documentação é possível visualizar como a extração dos bits é feita: primeiramente é feita uma transformação de perspectiva em cima do candidato, a fim de remover qualquer perspectiva indesejada, e o resultado é filtrado com o limiar de Otsu, a fim de diferenciar pixels pretos e branco, como é mostrado na figura abaixo:



Figura 4.4: Remoção de perspectiva para detecção de marcador

O próximo passo seguido pelo algoritmo é dividir a imagem em uma área quadriculada, onde, em cada célula dessa área, há uma contagem de pixels brancos e pretos, a fim de determinar se aquela célula é branca ou preta.

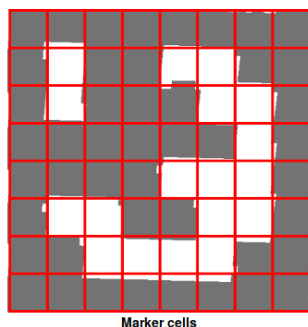


Figura 4.5: Divisão em *grid*

Esse processo de contagem de pixels pretos e brancos pode ser representado pela imagem abaixo. Nesse passo, são ignorados alguns pixels da imagem a fim de otimizar o processo de contagem dos pixels.

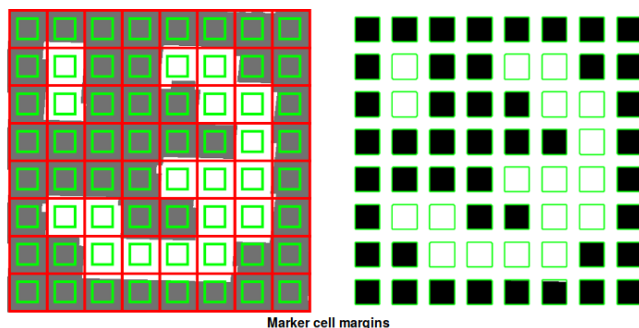


Figura 4.6: Processo de ignorar alguns pixels para identificação do marcador

Após todos os passos do algoritmo de detecção de marcadores, é possível obter-se os identificadores dos marcadores presentes na imagem original, os seus quatro cantos, e os contornos dos objetos rejeitados no processo intermediário no passo de detecção de contornos.

Com essa detecção rápida e precisa feita pela biblioteca *OpenCv*, foram escolhidos quatro identificadores que simbolizam os cantos da folha modelo e para o software, após decodificar os quatro marcadores, dependendo do seu identificador, selecionar 4 pontos, um de cada marcador, a fim de adquirir a área de interesse da folha para o software.

Com a área de interesse adquirida, é aplicada uma transformação de perspectiva nessa nova imagem a fim de desprezar distorções causadas pelo posicionamento da câmera, uma vez que

esta nova imagem que será analisada pelo software precisa ser paralela à folha, o que é possível a partir de diferentes ângulos, isso se os quatro marcadores forem visíveis, graças a transformação de perspectiva, fazendo o usuário manusear o software de forma mais confortável.

Outra forma de identificação que foi testada no projeto foi por cores em círculos coloridos posicionados no canto da folha. Devido à diversas variáveis de ambiente, essas cores poderiam variar de usuário para usuário, local para local, câmera para câmera entre outros, o que tornava necessária a marcação das cores ser feita manualmente pelo usuário com o propósito de haver um cálculo da média da cores dos círculos para sua identificação e, devido a essa inconsistência ao utilizar cores, a ideia foi descartada. O modelo anterior pode ser visto abaixo:

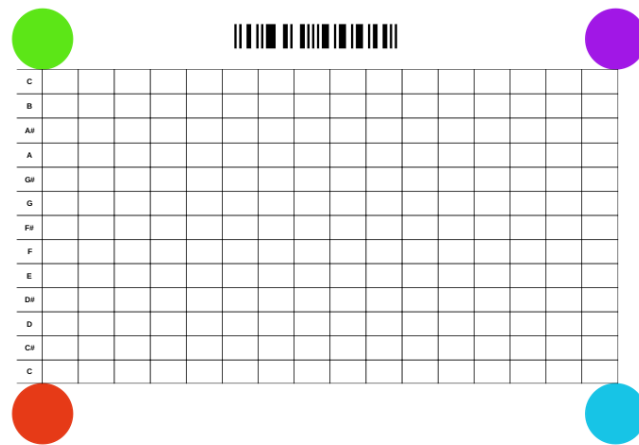


Figura 4.7: Modelo com círculos

Capítulo 5

O modelo de ‘drum pad’ e os aspectos de visão artificial envolvidos na sua interpretação

Como muitas aplicações que envolvam conceitos de visão artificial, é necessário um ambiente controlado de onde se possa extrair as informações necessárias para o funcionamento do programa de computador. Para isso, foi necessária a criação de um layout com elementos específicos que façam com que o ambiente seja bem interpretado pelo programa.

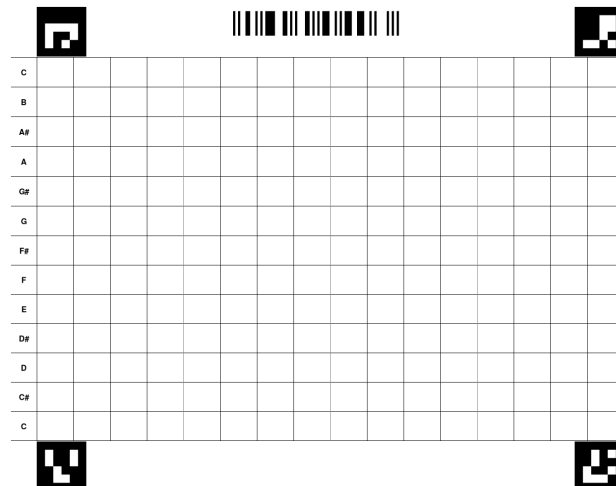


Figura 5.1: Modelo da folha com quatro notas por batida

As principais características do layout para que haja a interação com o programa de computador são os marcadores nos cantos da folha e o código de barras. Tendo em vista que, nesse modelo, sempre haverão 13 notas distintas que podem ser reproduzidas, o código de barras é utilizado para guardar a informação de quantas notas o programa pode reproduzir e sua fórmula de compasso, sem haver a necessidade do usuário especificá-las já que não faria sentido o modelo ter, por exemplo, uma área quadriculada de 13x8 e o usuário configurar que o essa área tem uma distribuição diferente da real ou uma fórmula de compasso que não corresponda ao modelo. Além do código de barras, são utilizados marcadores nos cantos da folha que, ao serem interpretados, mostram a imagem final que o programa utilizará como fonte de interpretação.

5.1 Transformação de Perspectiva para correção de distorções

Para o software interpretar a imagem de forma correta, é necessário que ela seja paralela à câmera, tornando desconfortável a sua utilização. Uma maneira de solucionar esse problema foi utilizar uma transformada de perspectiva, desprezando os problemas gerados para imagens capturadas de posições que não sejam paralelas à câmera que está capturando o ambiente.

Graças à biblioteca OpenCv, essa manipulação é de rápida e fácil aplicação, precisando-se apenas de quatro pontos de referência na imagem original e uma nova matriz imagem resultado.

A partir dos quatro pontos da imagem original, aplica-se a função `getPerspectiveTransform`, que a partir da fórmula mostrada abaixo, gera uma matriz de transformação de perspectiva 3x3:

$$\begin{bmatrix} t_i x'_i \\ t_i y'_i \\ t_i \end{bmatrix} = MapMatrix \times \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

$$dst(i) = (x'_i, y'_i), src(i) = (x_i, y_i) \quad (5.2)$$

Onde `dst` representa a matriz de destino e `src` a matriz de origem.

Após obtida a matriz de transformação 3x3, aplica-se a função `warpPerspective`, disponibilizada pelo OpenCv, que aplica a transformada de perspectiva na imagem original utilizando uma

combinação de métodos de interpolação do *OpenCv* (*INTER_LINEAR* ou *INTER_NEAREST*) passada como parâmetro. Para se obter a imagem transformada, o seguinte cálculo é aplicado:

$$dst(x, y) = src \left(\frac{M_{11}x + M_{12}y + M_{13}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}}, \frac{M_{21}x + M_{22}y + M_{23}}{M_{31}x + M_{32}y + M_{33}} \right) \quad (5.3)$$

Onde M é a matriz de transformação 3×3 obtida a partir da função *getPerspectiveTransform*, dst é a matriz ou imagem de destino e src é a matriz ou imagem de origem.

Com essa transformação é possível desconsiderar as linhas que formam os retângulos na folha de papel, economizando processamento ao utilizar linhas virtuais calculadas de forma linear de acordo com as informações extraídas do código de barras da folha.

O resultado das operações pode ser observado na imagem abaixo:



Figura 5.2: Resultado de uma transformação de perspectiva em uma imagem

Capítulo 6

O Algoritmo de identificação de marcações de notas

Partindo da imagem capturada da câmera do usuário, o programa procura os marcadores dos cantos da folha, o código de barras e os interpreta guardando as informações necessárias. Essas verificações acontecem a cada frame capturado pela câmera para manter a integridade com a imagem de tempo real. Com pontos capturados a partir dos marcadores, é selecionada a área de interesse da folha que o programa deverá interpretar ao sinal do usuário.

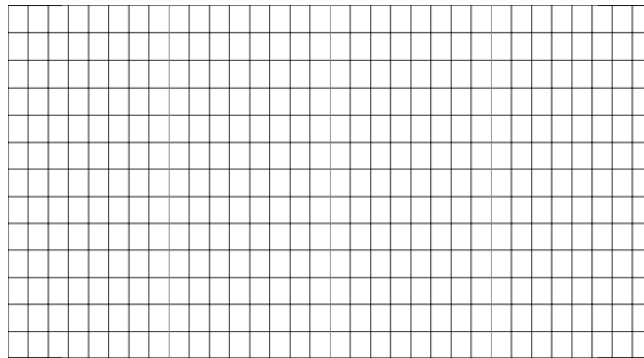
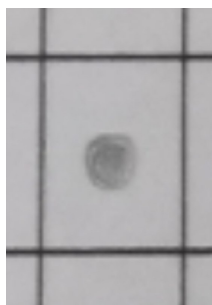


Figura 6.1: Área central de uma folha

Com a informação de quantas colunas existem na área quadriculada, adquirida do código de barras presente na folha, a próxima etapa executada pelo algoritmo é de verificar, em cada um

dos retângulos da área de interesse, se há dois tipos de marcações diferentes: uma representa um som que só tocará naquele momento e a outra representa a continuidade do som, permitindo que ela seja reproduzido durante o tempo desejado pelo usuário. Foram escolhidas duas marcações diferentes para o software identificar quando deve ocorrer cada uma das duas situações. O que identifica se a nota será ou não mantida, é haver ou não pixels marcados do meio da marcação original padrão até o final do quadrado identificado pelo programa.



(a) Marcação de nota



(b) Marcação de nota continuada

A partir das informações que o programa consegue da etapa anterior, ele envia mensagens MIDI, utilizando o protocolo MIDI, para se comunicar com uma fonte de áudio selecionada pelo usuário, a qual será responsável pela reprodução dos sons em si. Isso tudo com um intervalo de tempo definido entre cada nota, devido à cálculos a partir da fórmula do compasso daquele modelo, extraída do código de barras da folha, e definida ao gerar o pdf a partir de um segundo programa criado para esse propósito.

Devido à falta de dinamicidade uma vez que é impossível alterar quantos retângulos existem na folha de papel após impressa, não foi possível utilizar a fórmula de compasso convencional na teoria musical, então foi definida uma convenção de que, para o software, existem dois valores: um que determina quantas batidas aquela folha comportará e outro que determina quantas notas serão tocadas em cada batida.

O cálculo feitos para se obter o tempo de coluna da folha é um simples cálculo utilizando a fórmula do compasso convencional e o valor de batidas por minuto passado como parâmetro, pelo usuário, ao executar o software:

$$tempo = \frac{60}{bpm \times y} \quad (6.1)$$

Onde y representa o número de sons que serão reproduzidos a cada batida, ou seja, o deno-

minador da fórmula do compasso convencionada.

A ordem de disposição das notas foi escolhida da maneira como mostrada na imagem (REFERENCIA A IMAGEM) pois é o mais próximo de como uma "pista" MIDI é representada em softwares profissionais de gravação de músicas, denominados DAW (Digital Audio Workstation), quando o usuário utiliza recursos MIDI, como se pode ver na imagem abaixo:

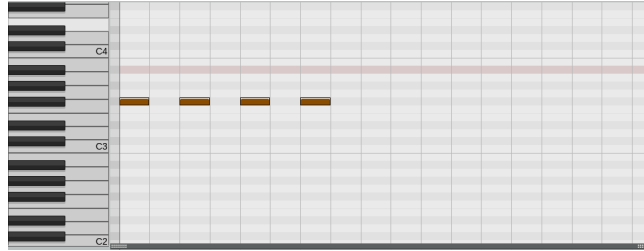
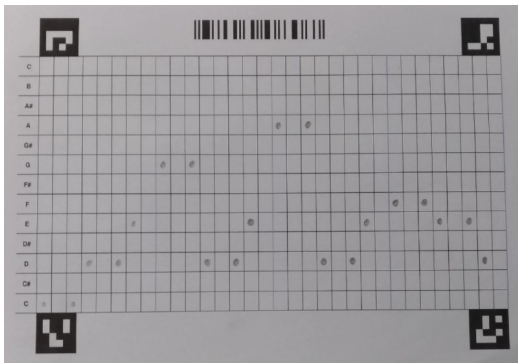
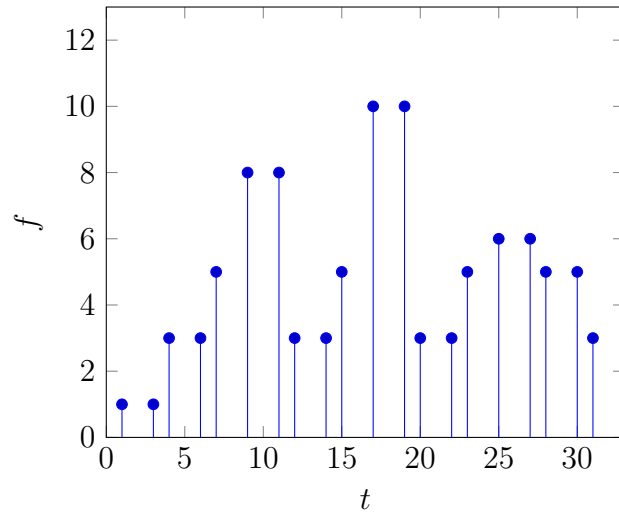


Figura 6.3: *Midi Item na DAW Reaper*

Também podemos interpretar o layout como um gráfico num simples plano cartesiano. O gráfico representa frequência \times tempo, fazendo com que a posição da marcação represente uma frequência num intervalo de tempo. Essa interpretação pode ser representada da seguinte maneira:



(a) Folha com marcações



(b) Gráfico discreto

Capítulo 7

Como Utilizar o Software

Ao se iniciar o software, é necessário passar três parâmetros iniciais na sua execução. O primeiro é o identificador da entrada de vídeo do usuário para a cena ser capturada com a câmera correta caso haja mais de uma conectada.

O segundo é a velocidade de batidas por minuto (bpm) para o tempo de referência para reprodução das notas reproduzidas pelo software. Ao gerar o modelo da folha, o usuário deve passar os valores que ditaram a regra de velocidade de cada intervalo de tempo baseado no bpm informado pelo usuário. Devido à limitações de espaço, o máximo de retângulos que podem ser gerados para o bom funcionamento do software é de 46 retângulos. Um exemplo que faria com que o software apresentasse inconsistência pode ser encontrado abaixo:

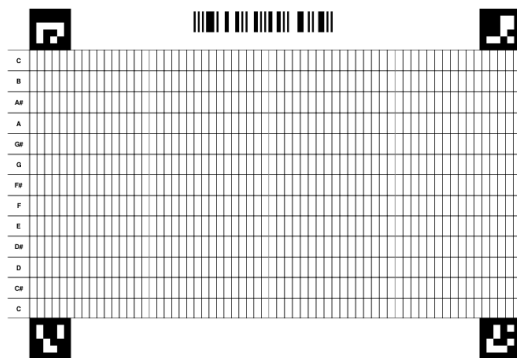


Figura 7.1: Folha com 4 batidas por linha e 16 notas por batida

Podemos ver que, dependendo do que o usuário definisse, a espaço livre para as marcações seria muito pequeno, prejudicando o funcionamento do software.

O terceiro é a oitava que será reproduzida no software. A oitava, na teoria musical, representa uma nota com o dobro ou metade de sua frequência. É quando a nota será, apesar de ter uma frequência maior ou menor que a nota de referência, a mesma e se chama oitava devido ao fato de, na representação mais comum das notas (dó, ré, mi, fá, sol, lá, sí), ela seria a oitava nota, que seria a mesma da primeira porém com uma frequência dobrada, ou seja: dó (oitava x), ré, mí, fá, sol, lá, sí e dó (oitava $x+1$), onde o último só é a oitava nota em relação ao primeiro.

Com esses parâmetros definidos, o software inicia-se e lista todas as entradas midi disponíveis no momento para o usuário escolher a que o software enviará as mensagens do protocolo. Os parâmetros iniciais informados pelo usuário ao iniciar o software são apenas para configuração inicial do ambiente, porém, ao iniciar-se o software de maneira correta, são editáveis a partir do clique de teclas específicas informadas pelo programa.

Após essas configurações iniciais, é preciso se cumprir, assim como outros softwares que utilizam conceitos de visão artificial, certas condições para o funcionamento correto do software projetado neste trabalho. Primeiramente precisa-se de condições de ambiente favoráveis à captura das imagens da câmera como iluminação da cena, principalmente de forma que a folha não fique muito escura ou com sombreados escuros, pois o filtro de branco utilizado na área de interesse pode identificar essas sombras como marcações, o prejudica no funcionamento do software. Outra condição é uma angulação da câmera de forma que se consiga visualizar os quatro marcadores ArUco e o código de barras presentes na folha. Marcações serão mostradas no vídeo quando os cinco elementos forem identificados de forma correta. Abaixo temos a imagem capturada pela câmera com as devidas marcações indicando que as instruções iniciais foram seguidas como o desejado:

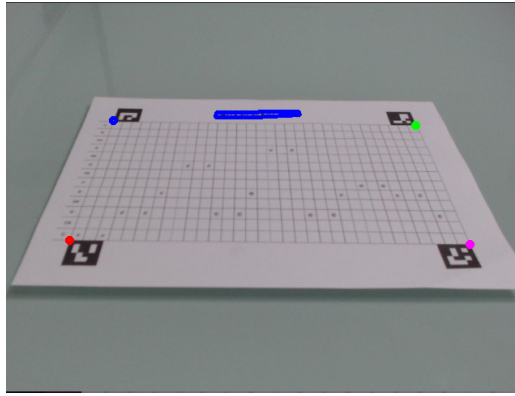


Figura 7.2: Imagem capturada pela câmera com marcações de reconhecimento

A partir desse ponto, pode-se utilizar a barra de espaço para o software tocar ou parar a sequência identificada na folha. Essa sequência pode ser livremente alterada pelo usuário diretamente na folha de papel e reproduzida novamente quando se desejar, bastando apenas que as condições já explicadas sejam sempre cumpridas antes de se informar ao software que ele deverá reproduzir a sequência da folha.

As marcações devem ser feitas sempre o mais centralizadas possível no retângulo que indica o espaço de tempo da sequência, sendo possível representar sons que vão continuar soando ou que vão parar no próximo intervalo de tempo com duas marcações distintas já mostradas no capítulo que destrincha o algoritmo utilizado.

Os valores que podem ser alterados durante a execução do software, diretamente no próprio software controlador, e não no sintetizador, são o valores do bpm e da oitava, além de indicadores para determinar se haverá stop ou play ao se pressionar a barra de espaço e para determinar se o software enviará mensagens para o canal dez, que simula instrumentos de percussão, ou para o canal um que simula instrumentos melódicos. As teclas responsáveis para somar e subtrair desses valores, respectivamente, são seta para cima, seta para baixo, seta para direita e seta para esquerda. Para ativar ou desativar o modo de bateria, a tecla correspondente é a tecla M do teclado.

Capítulo 8

Resultados

Quando em ambiente bem iluminada, ângulação da câmera corretamente ajustada e marcações devidamente adicionadas à folha, o software apresenta ótimos resultados em conjunto com softwares sintetizadores que seguem o Protocolo MIDI, pecando apenas na temporização das notas devido ao algoritmo utilizado.

Também é possível utilizar o software como um controlador midi em uma DAW, porém, da forma como ele está no momento da escrita desse documento, ainda apresenta inconsistências quando utilizada dessa forma. A DAW utilizada para se obterem os resultados chama-se Reaper e é gratuita.

Pode-se considerar, de certa forma, cada folha de papel como um compasso de uma partitura musical, o torna possível a composição não de músicas completas, mas sim de trechos e ideias de músicas, e o usuário pode guarda-lás assim como se faz com partituras, tablaturas e gravações, porém com a vantagem de alterar o tempo e o instrumento a cada vez que reproduzir a informação contida na folha de papel.

Capítulo 9

Conclusões

O software desenvolvido consiste num algoritmo criado especificamente para o que o software pretende entregar para o usuário. Utilizando de conceitos de visão artificial e de comunicação MIDI para interpretar informações e elementos, a partir de uma folha A4 impressa com um layout específico e preenchida de acordo com o que o usuário pretende que seja reproduzido, e enviando mensagens MIDI para um segundo software sintetizador escolhido pelo usuário, que será o responsável por reproduzir as notas desejadas e encontradas na folha de papel.

Durante o desenvolvimento, foram precisos armazenar informações no modelo da folha de papel e se identificar pontos distintos para haver uma transformação de perspectiva na imagem original capturada pela câmera e, para esses dois quesitos, foram utilizados como solução um código de barras para o armazenamento das informações e marcadores ArUco para o software determinar corretamente a área de maior interesse da folha.

Devido a reprodução e repetição do algoritmo não otimizado de maneira correta, o software acaba tendo problemas com relação à temporização de cada nota, para a qual foi convencionado um substituto da fórmula do compasso da teoria musical para ser aplicado um cálculo de tempo que cada nota deve ser mantida ativada. Uma solução seria a aplicação de um vetor de mensagens MIDI que seria preenchido no momento que o software interpretasse a folha de papel da primeira vez e com isso, ao invés do software procurar informação em cada retângulo da folha a todo momento, o que gera overhead considerável, só aconteceria a leitura desse vetor onde foram armazenadas as mensagens MIDI, tornando o programa mais veloz e provavelmente solucionando o problema da temporização de cada som e adicionando também a possibilidade

de serem criados diferentes vetores a partir de diferentes folhas de papel, tornando possível o usuário reproduzir mais de uma folha de papel em sequência.

O software utiliza interfaces para o usuário disponibilizadas pela biblioteca de visão artificial OpenCv, porém essas interfaces não são modernas ou intuitivas, prejudicando a experiência do usuário final. Outra adição ao programa seria criar uma interface visual intuitiva e moderna com as opções de se selecionar a oitava, velocidade, volume, instrumento que o sintetizador deverá simular, criar um novo pdf a partir de parâmetros definidos do usuário diretamente da aplicação e não utilizando um segundo programa e uma visualização, no caso da adição da funcionalidade dos vetores apresentada no parágrafo anterior, de cada folha de papel armazenada e uma linha do tempo de qual folha está sendo reproduzida no momento caso o usuário tenha escolhido reproduzir mais de uma folha em sequência.

Apêndice A

Biblioteca RtMidi

Como já visto no capítulo (capítulo do protocolo midi), o sintetizador escolhido pelo usuário precisa receber as mensagens enviadas pelo software e foi com auxílio da biblioteca RtMidi para a linguagem de programação C++ que foi possível abstrair todo o fluxo de troca de mensagens em simples funções disponibilizadas pela biblioteca.

Para a utilização do protocolo MIDI e para a comunicação entre sintetizadores, foi escolhida a biblioteca RtMidi para a linguagem de programação C++. Toda a transmissão e criação das mensagens foi abstraída durante o desenvolvimento do projeto graças às funcionalidades da biblioteca e foi por esse motivo, além de ser Open Source, que ela foi escolhida para fazer parte do desenvolvimento do software.

A biblioteca consiste em duas classes chamadas RtMidiOut e RtMidiIn. A classe RtMidiOut proporciona, para o desenvolvedor, funcionalidades simples para a imediata troca de mensagens MIDI entre dispositivos virtuais ou não conectados através de uma conexão MIDI. Com essas funcionalidades foi possível ocorrer o envio de mensagens para o sintetizador selecionado pelo usuário como porta de entrada ou cliente para escrita da conexão midi com apenas o uso, após configurada essa entrada, de uma função responsável exclusivamente pelo envio dessas mensagens. A outra classe, RtMidiIn, apesar de não ter sido utilizada no software apresentado neste trabalho, utiliza uma função interna de callback ou thread para receber mensagens MIDI que são enviadas a partir de uma porta de saída MIDI selecionável e as lendo, transformando no formato utilizado pela biblioteca, ou repassando-a imediatamente para uma função de callback especificada pelo usuário, o que tornaria possível, por exemplo, o software reproduzir, num

sintetizador digital, o que foi enviado a partir de um controlador físico conectado à máquina do usuário.

Ao se instanciar um objeto da classe RtMidiOut, é criada uma saída virtual MIDI a qual pode se comunicar com qualquer entrada midi disponível e, ao se instanciar um objeto da classe RtMidiIn, é criada uma entrada midi virtual e essa pode receber mensagens de qualquer saída midi disponível, desde de que haja conexão entra as saídas e entradass que se deseja.

Um exemplo, utilizado na documentação da biblioteca, de aplicação da classe RtMidiOut pode ser visto abaixo:

```
// midiout.cpp
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include "RtMidi.h"
int main()
{
    RtMidiOut *midiout = new RtMidiOut();
    std::vector<unsigned char> message;
    // Check available ports.
    unsigned int nPorts = midiout->getPortCount();
    if ( nPorts == 0 ) {
        std::cout << "No ports available!\n";
        goto cleanup;
    }
    // Open first available port.
    midiout->openPort( 0 );
    // Send out a series of MIDI messages.
    // Program change: 192, 5
    message.push_back( 192 );
    message.push_back( 5 );
    midiout->sendMessage( &message );
    // Control Change: 176, 7, 100 (volume)
    message[0] = 176;
    message[1] = 7;
```

```

message.push_back( 100 );
midiout->sendMessage( &message );
// Note On: 144, 64, 90
message[0] = 144;
message[1] = 64;
message[2] = 90;
midiout->sendMessage( &message );
SLEEP( 500 ); // Platform-dependent ... see example in tests directory.
// Note Off: 128, 64, 40
message[0] = 128;
message[1] = 64;
message[2] = 40;
midiout->sendMessage( &message );
// Clean up
cleanup:
delete midiout;
return 0;
}

```

O exemplo apresentado da documentação oficial para a classe *RtMidiIn* pode ser visualizado logo a seguir:

```

// qmidiin.cpp
#include <iostream>
#include <cstdlib>
#include <signal.h>
#include "RtMidi.h"
bool done;
static void finish(int ignore){ done = true; }
int main()
{
    RtMidiIn *midiin = new RtMidiIn();
    std::vector<unsigned char> message;

```

```

int nBytes, i;
double stamp;
// Check available ports.
unsigned int nPorts = midiin->getPortCount();
if ( nPorts == 0 ) {
    std::cout << "No ports available!\n";
    goto cleanup;
}
midiin->openPort( 0 );
// Don't ignore sysex, timing, or active sensing messages.
midiin->ignoreTypes( false, false, false );
// Install an interrupt handler function.
done = false;
(void) signal(SIGINT, finish);
// Periodically check input queue.
std::cout << "Reading MIDI from port ... quit with Ctrl-C.\n";
while ( !done ) {
    stamp = midiin->getMessage( &message );
    nBytes = message.size();
    for ( i=0; i<nBytes; i++ )
        std::cout << "Byte " << i << " = " << (int)message[i] << ", ";
    if ( nBytes > 0 )
        std::cout << "stamp = " << stamp << std::endl;
    // Sleep for 10 milliseconds ... platform-dependent.
    SLEEP( 10 );
}
// Clean up
cleanup:
delete midiin;
return 0;
}

```

Para o testes do software, foram utilizados 3 softwares de terceiros, sendo eles o QSynth,

sintetizador virtual MIDI, o VMPK, outro sintetizador virtual MIDI mas também controlador, e o QJackCtl, um software que permite o usuário administrar as conexões MIDI entre saídas e entradas MIDI disponíveis na máquina.

Abaixo pode-se visualizar como se dá a comunicação dos softwares controlador e sintetizador:

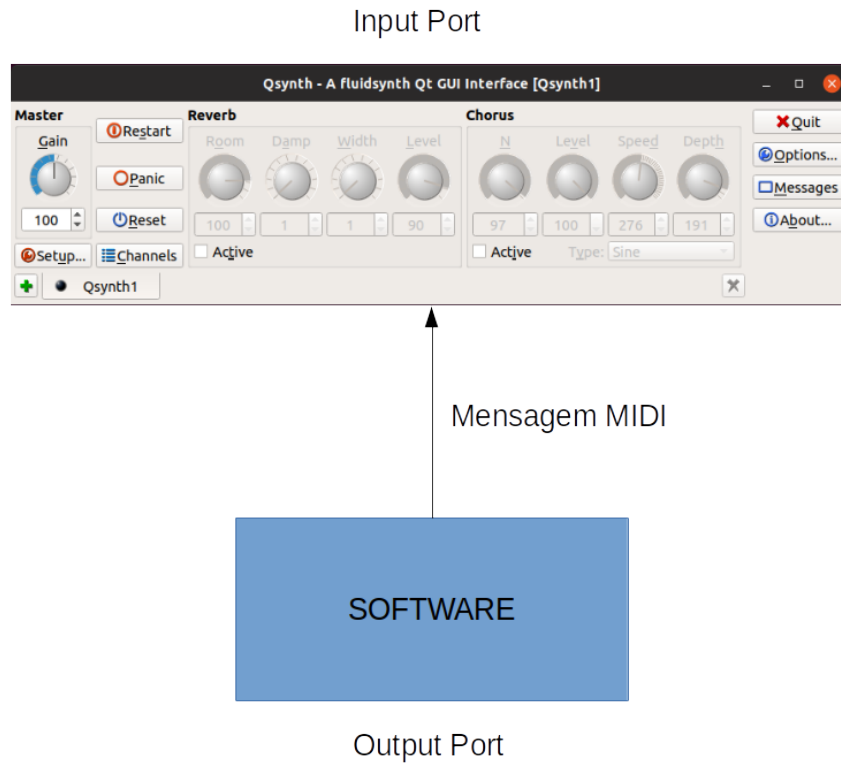


Figura A.1: Diagrama de fluxo entrada e saída MIDI

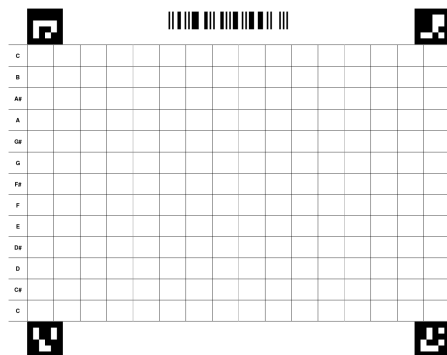
Onde as portas de saída são os controladores e as de entrada são os sintetizadores.

Apêndice B

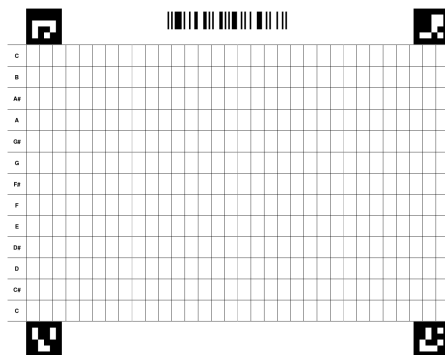
Passo-a-passo para utilização do software

A utilização do software consiste em alguns passos que devem ser seguidos para seu funcionamento.

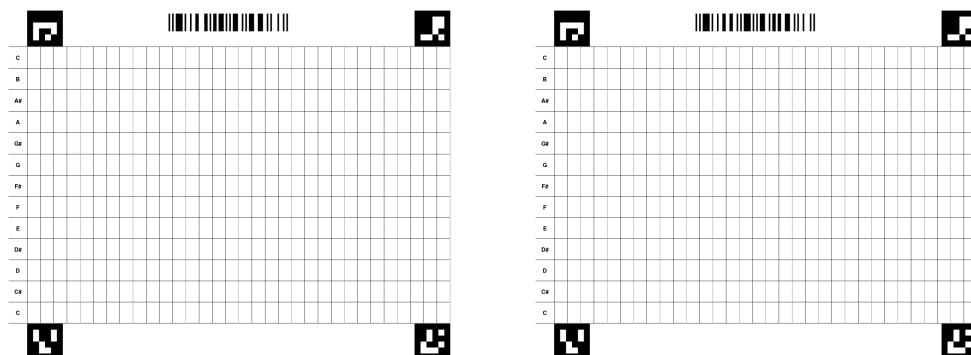
Primeiramente é necessário gerar um modelo de folha de papel a partir de um software secundário que recebe os parâmetros da fórmula do compasso convencionada no desenvolvimento do software que utiliza visão artificial. Esses parâmetros são o número de batidas por folha e quantas notas serão tocadas a cada batida do bpm selecionado pelo usuário na execução do software primário. Pode-se perceber, nos modelos abaixo, que há uma divisão em cinza para cada batida do bpm, o que indica de forma visual qual foi a composição utilizada na geração do modelo.



(a) Modelo com 4 batidas por folha e 4 notas por batida



(b) Modelo com 4 batidas por folha e 8 notas por batida



(a) Modelo com 8 batidas por folha e 4 notas por batida (b) Modelo com 16 batidas por folha e 2 notas por batida

Onde podemos comparar, levando um compasso de uma partitura como referência, o modelo da figura ?? com um compasso de uma partitura com, no máximo, dezesseis semicolcheias, o modelo da figura ?? com um compasso com, no máximo, 32 fusas, o modelo da figura ?? com um compasso com, no máximo, 32 semicolcheias e o modelo da figura ?? com um compasso com, no máximo, 32 colcheias, sendo possível, devido à implementação da identificação de marcação de nota continuada, mostrada na figura 3.2b, utilizar notas que fiquem ativas durante mais de um intervalo de tempo da folha.

Abaixo há uma referência para a nomenclatura das figuras de tempo, utilizadas no parágrafo anterior:

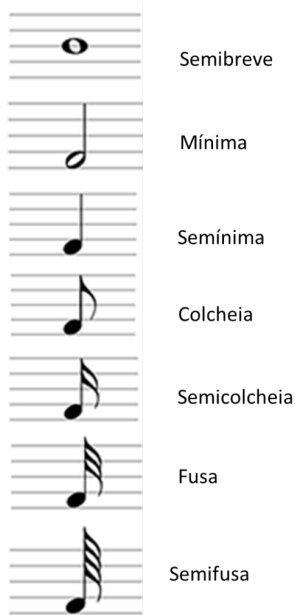


Figura B.3: Figuras musicais para representação de tempo

Com a folha impressa, inicia-se o software primário com os parâmetros que representam, respectivamente, o identificador da câmera que o usuário utilizará para capturar as imagens, o bpm que será levado como referência no cálculo do tempo de cada nota e a oitava, indicando quais valores o conjunto de 13 sons representarão no sintetizador. Após a iniciação correta do software, o usuário deverá informar, dentro as entradas listadas, qual ele quer que receba as mensagens enviadas pelo programa.

Após serem definidos os parâmetros de inicialização, o usuário deve posicionar a folha de papel de maneira que a câmera identifique ambos os quatro marcadores ArUco tanto o código de barras. No momento que forem interpretados da maneira correta, marcadores aparecerão na tela indicando que o usuário pode prosseguir normalmente. Ver figura ??.

Após os elementos serem devidamente interpretados pelo software, uma nova janela aparecerá e nela estará a área de interesse da folha com a transformada de perspectiva aplicada para melhor visualização das marcações tanto para o usuário quanto para o próprio software. Após isso, usuário poderá pressionar barra de espaço para o programa começar a enviar as mensagens midi, correspondentes às marcações presentes na folha, para o sintetizador. Para cada coluna lida pelo software, uma marcação é adicionada à imagem transformada, representando qual coluna o software está lendo no momento, como apresentado na figura abaixo:

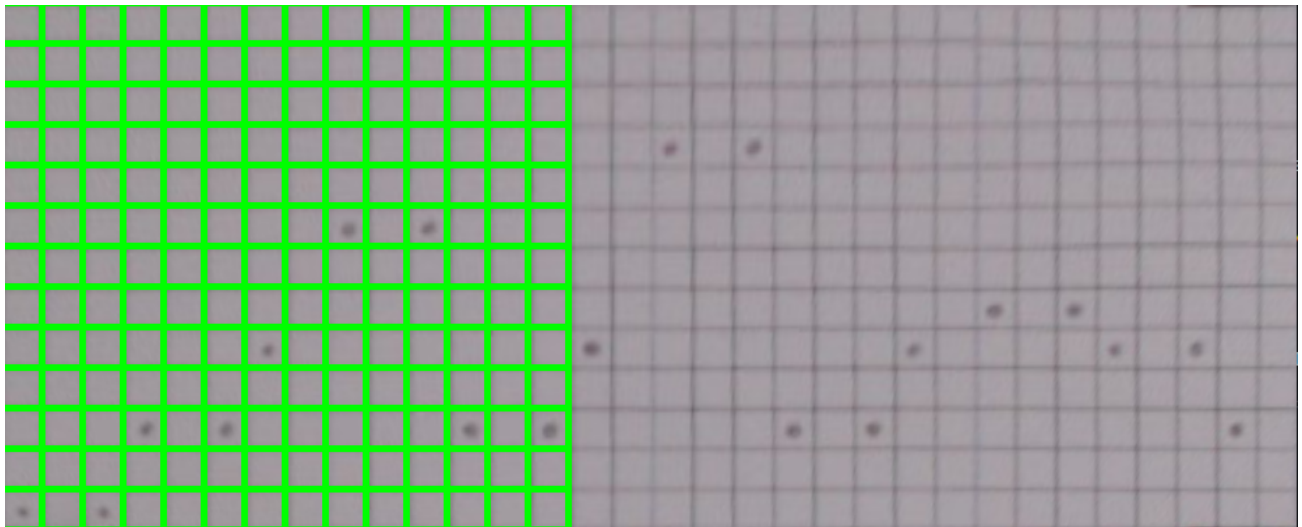


Figura B.4: Indicações de qual coluna está sendo interpretada no momento

Abaixo é possível visualizar uma folha com os quatro primeiros compassos da música "Dó Ré Mi Fá". Cada folha representaria apenas um compasso por vez da música original, porém,

devido à solução encontrada para essa limitação, que é a fórmula do compasso convecionada já discutida anteriormente, é possível reproduzir quatro compassos em uma única folha, como é possível de se visualizar abaixo. A folha em questão possui os seguintes parâmetros: 16 e 2, os quais fazem cada batida representar uma coluna da folha, ou seja, 16 batidas por folha, duas notas por batida e 32 notas ou conjunto de notas por folha, a qual, quando comparada a um compasso de uma partitura, pode-se dizer que representa um compasso com no máximo 32 colcheias.

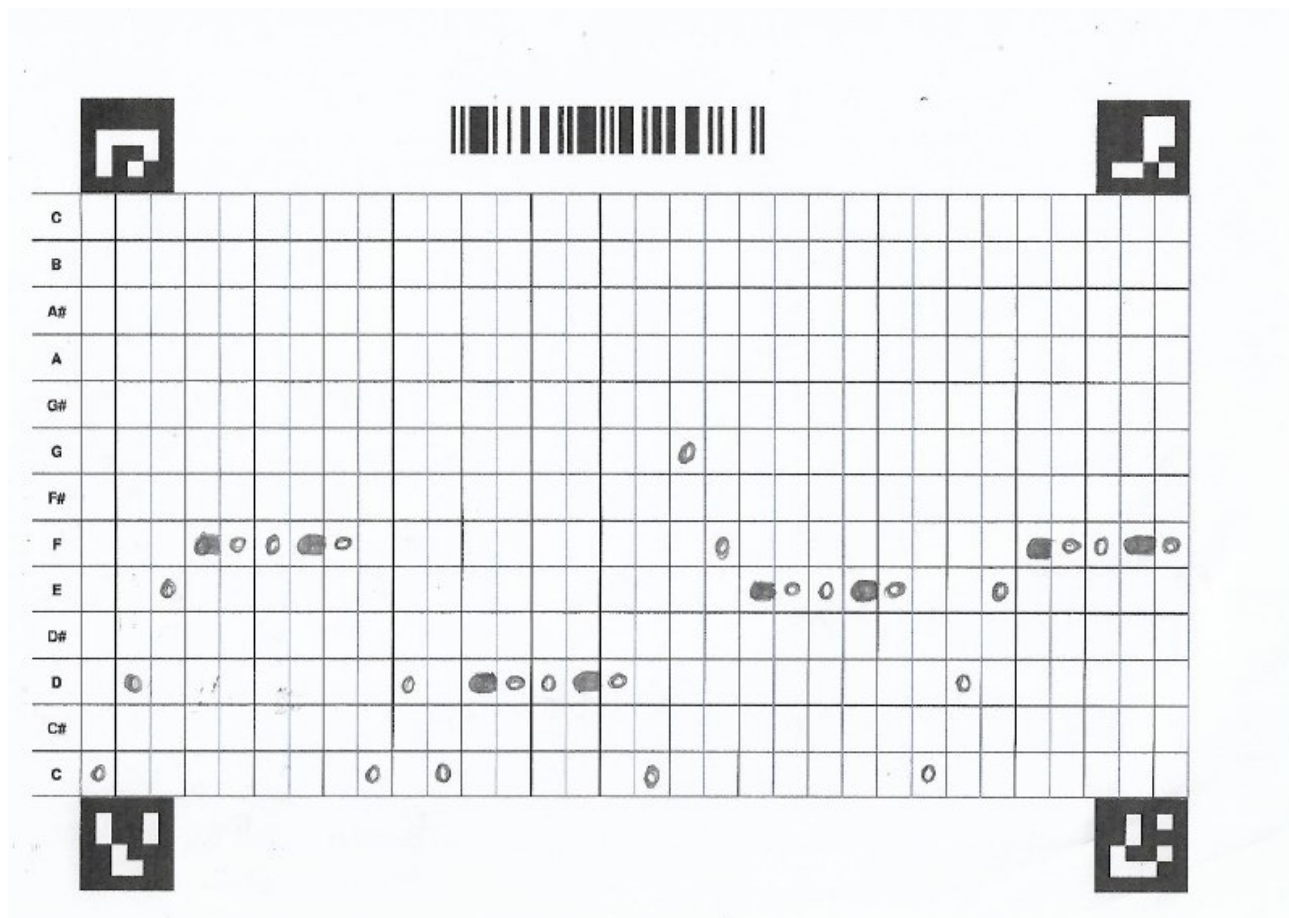


Figura B.5: Folha que simula a música "Dó Ré Mi Fá"

Também é possível, com o modo de bateria ativado, ao se pressionar a tecla M, reproduzir acompanhamentos de bateria em sequência. A figura abaixo representa uma bateria de rock, onde

se tem dois bumbos em sequência seguidos por uma caixa com acompanhamento de chimbal:

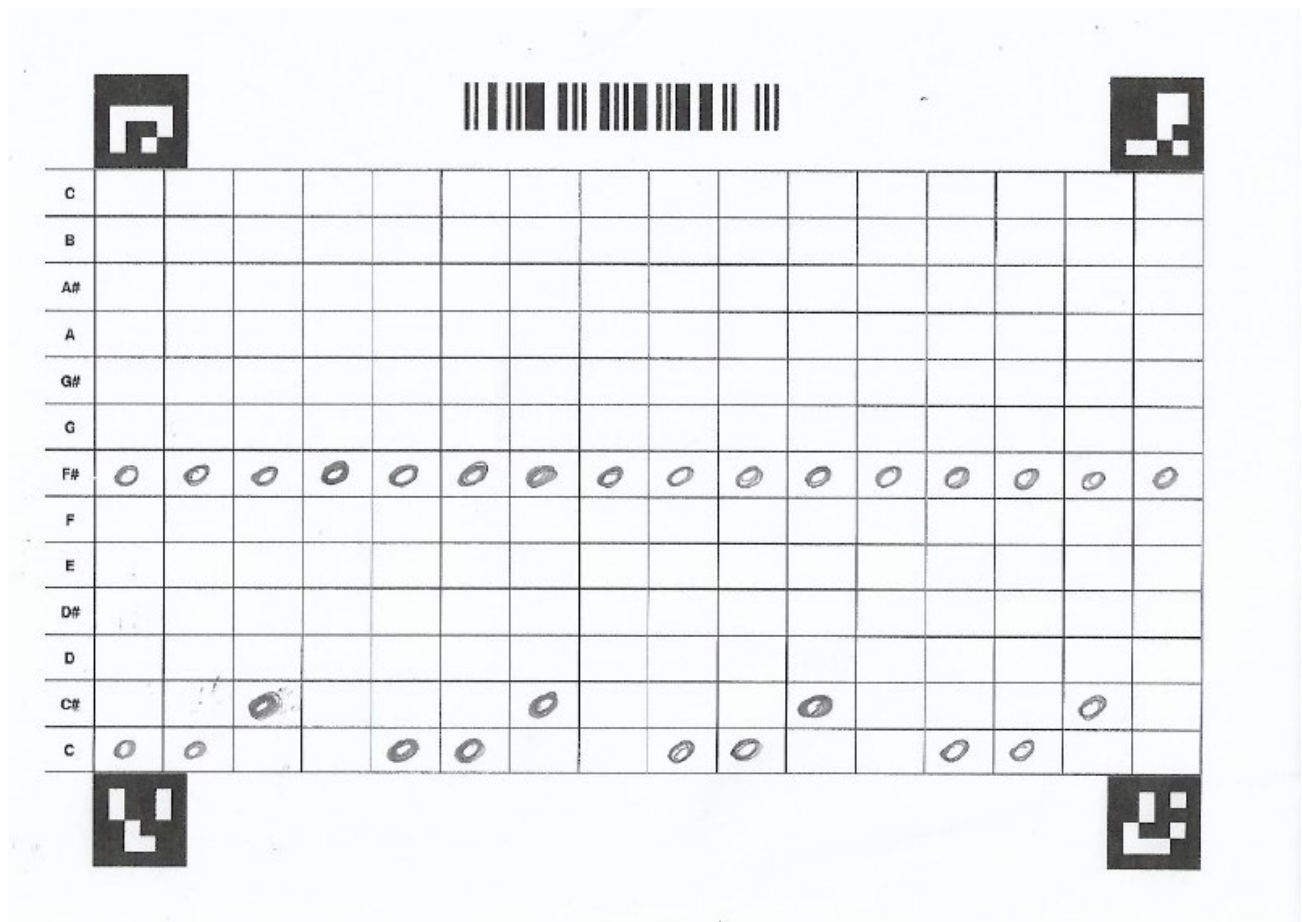


Figura B.6: Folha que simula um ritmo de rock