

Table of Contents

1	Aufgabenstellung.....	2
1.1	Was ist ein Harmonizer.....	2
1.2	Funktionsweise.....	2
1.3	Umsetzung.....	3
2	Etwas Musiktheorie.....	3
2.1	Tonhöhe (Pitch) vs. Frequenz.....	3
2.2	Die Halbtöne & Cents.....	3
2.3	Harmonischen.....	3
2.4	12 Töne System.....	4
2.5	Reine Stimmung.....	4
2.6	Gleichstufige Stimmung.....	4
3	MIDI.....	5
3.1	Midi Protokol.....	5
3.2	MIDI MPE.....	5
3.3	MIDI Befehle.....	5
3.3.1	Noten.....	6
3.3.2	Steuerung über CC / Nrpn.....	6
3.3.3	Übertragung.....	7
3.3.4	MIDI Controller.....	8

1 Aufgabenstellung

1.1 Was ist ein Harmonizer

Ein Harmonizer erstellt zu einer gegebenen Frequenz weitere davon abhängige Frequenzen. Dies können Vielfache der Grundfrequenz, genant Harmonische, oder andere festgelegte Frequenzverhältnisse wie z.b. Quinte ($3/2$ Frequenz) sein. In dieser Projektarbeit sollten einfachheitshalber nur Harmonische bzw. Subharmonische verwendet werden.

1.2 Funktionsweise

Für den MIDI Harmonizer wurde folgende Funktionsweise definiert. Eingehende MIDI Befehle sollten analysiert und dazu entsprechende Noteninformationen, die den gewünschten Harmonischen entsprechen, generiert und an ein MIDI Gerät gesendet werden. Die Harmonischen selbst, sowie deren Lautstärken sollten dabei frei einstellbar sein.

In Monomodus sollte die Grundnote sowie die generierten harmonischen Noten über desselben Kanal ausgegeben werden. In diesem Modus kann nur mit gleichstufigen Stimmung gearbeitet werden.

Im Mehrkanalmodus sind die einzelnen generierten Noten über unterschiedliche MIDI Kanäle einzeln zu Übertragen. Somit funktioniert diese wie MIDI MPE.

In dem „Reine Stimmung“ Modus sollte noch zusätzlich dazu mittels generierter pitch bend Informationen die Tonhöhe von der gleichstufigen Stimmung an die reine Stimmung angepasst werden.

Des weiteren, quasi als Nebenprodukt, da die Funktionalität bereits in dem ersten Teil vollständig vorhanden ist, sollte ein Wandler von Chromatischer auf Reine Stimmung implementiert werden. Hier sollten die eingehenden Noten selbst nicht verändert werden, sondern nur die entsprechenden passenden Pitch Bend Inforationen generiert werden um die Frequenzen der Noten entsprechend fein zu stimmen.

Als letztes ist noch eine kleine Oberfläche zu erstellen mit der sich die Parameter des Harmonizers in Echtzeit steuern lassen.

1.3 Umsetzung

Dieses Projekt ist in Python mit geeigneten Bibliotheken umzusetzen. Als Basis sollte der LaunchPadEditor Projekt (<https://github.com/KeeperOfTheDungeon/LaunchPadEditor>) verwendet werden in dem eine Verarbeitung der MIDI Befehle in Echtzeit bereits implementiert ist. Auf eine Möglichkeit der späteren Integration des Harmonizers in den LaunchPadEditor sollte dabei geachtet werden.

2 Etwas Musiktheorie

2.1 Tonhöhe (Pitch) vs. Frequenz

Für das grundlegende Verständnis der Musiktheorie ist es notwendig den Unterschied zwischen der Frequenz eines Tones und dessen Tonhöhe zu verstehen. Beides Beschreibt die Frequenz mit deren eine Sinusschwingung abgespielt wird. Der Unterschied liegt aber in der Art wie Verhältnisse der abgespielten Sinusschwingungen untereinander. Bei einer Frequenz sind diese additiv, bei Tonhöhe sind die Frequenzen selbst multiplikativ (zweier Potenz) So entspricht die doppelte Tonhöhe zwar der Doppelten Frequenz, aber die dreifache Tonhöhe ist bereits die vierfache der Frequenz.

Bei Frequenzverschiebung werden alle Tonhöhe um die gleichen Faktor verschoben. So Beinhaltet eine Schwingung die aus zwei Wellenformen besteht mit 110Hz sowie 440Hz nach einer Frequenzverschiebung um 110 Hz die beiden Schwingungen 220Hz sowie 550Hz. Bei einem „Pitch Shift“ sind es aber 220Hz sowie 880 Hz.

2.2 Die Halbtöne & Cents

Eine Oktave besteht aus 12 Halbtönen a 100 Cents also zusammengerechnet ist der Abstand zwischen 220 Herz und 440 Herz 1200 Cents. Auch der Abstand zwischen 440 Hz und 880Hz ist genau 1200 Cent, zwischen 220 und 880 sind es dann Folgerichtig 2400 Cents. Was die Berechnung der korrekter Frequenz eines Cents aber schwierig macht ist es, dass die Abstände zwischen den Cents nicht linear, sondern logarithmisch und zwar \log_2 sind. Das bedeutet aber auch das keine 2 Cents auf der Tonleiter den Ton um exakt den gleichen relativen Frequenzbetrag erhöhen oder Erniedrigen.

2.3 Harmonischen

Eine Harmonische entspricht einer ganzzahligen vielfachen der Grundfrequenz. Da es sich um Sinuswellen mit einer Ganzzahligen Frequenz der Grundwellenform handelt, klingen die Harmonischen wenn Sie zusammen abgespielt werden besonders angenehm. Die meisten Klänge von Musikinstrumente bestehen großteils, aber nicht nur, aus harmonischen Wellenformen.

Grundfrequenz	Zweite Harmonische	Dritte Harmonische	Vierte Harmonische
100	200	300	400
150	300	450	600
52	104	156	208

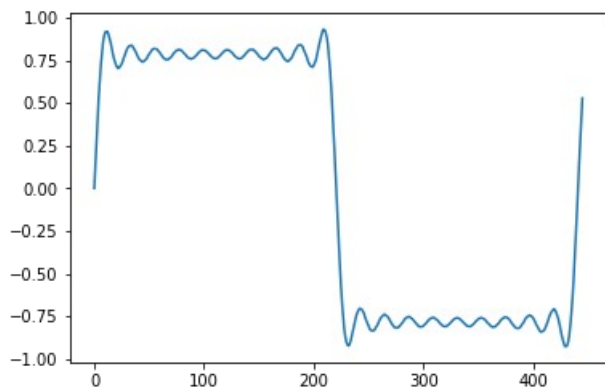


Abbildung 1 Rechteckwelle aus 10 Harmonischen

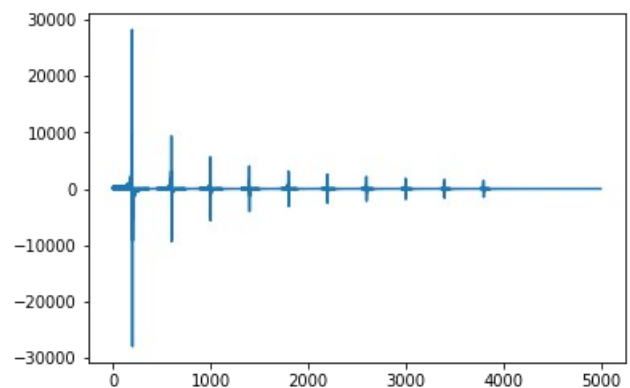


Abbildung 2 Spektrum einer Rechteckwelle

Was die einzelnen Klänge voneinander unterscheidet, ist es einerseits welche Harmonischen vorhanden sind sowie wie laut diese sind bzw. deren Zeitlicher Lautstärkenverlauf.

2.4 Subharmonischen

Ehnlich den Harmonischen verhält es sich mit den Subharmonischen. Der einzige unterschied zu den Harmonischen ist, das hier nicht die ganzzahlige Vielfachen, sondern ganzzahlige Teiler verwendet werden. So ist die erste Subharmonische von 100 Hz die Frequenz von 50 Hz

2.5 12 Töne System

In dem in Westlichen wird ein Tonsystem das aus zwölf Halbönen pro Oktave Besteht. Ausgehend von der Basis A4 (440 Hz) hat der dreizehnte Halbton, eine Oktave ($A5 = 880$ Hz) die doppelte Frequenz des Grundtons und ist damit gleichzeitig auch die zweite Harmonische. Eine weitere Oktave höher, der Halbton 25 ($A6 = 1760$) ist wiederum bereits die vierte Harmonische. Da die einzelnen Noten in einer Oktave nicht linear, sondern anhand eines Logarithmus zu Basis 12 verteilt sind, befindet sich die dritte Harmonische (1320Hz) zwischen den Halbtönen 20 ($E5 = 1318,51$ Hz) und 21 ($F5 = 1396,91$ Hz).

2.6 Reine Stimmung

Die Reine Stimmung basiert auf mathematisch perfekten Frequenzverhältnissen.

2.7 Gleichstufige Stimmung

Eine Reine Stimmung wäre bei 12 Ton Musik auf den meisten Instrumenten mit Frequenzquantisierung (Piano, Gitarre, Flöte) nur für eine bestimmte Grundfrequenz (Tonart) möglich. Bei Spielen in anderen Tonnationen würde es erhebliche, unangenehm hörbare Abweichungen, hervorrufen. Aus diesem Grund wurde als eine Art Kompromisslösung die Gleichstufige Stimmung entwickelt. Hier sind die Abstände zwischen den Tönen immer gleich

3 MIDI

MIDI – Musical Instrument Digital Interface ist ein Standard zur Datenübertragung in der Musikalischen Welt. Alle fast alle Musikalischen Geräte, seien es Synthesizer, Digitalpianos, Orgel, Sequenzer, Controller, Effektgeräte, usw. nutzen diese Schnittstelle um Daten untereinander auszutauschen. Ursprünglich für Serielle 31250 Kbps Kommunikation konzipiert, was damals anno 1983 technologisch sehr anspruchsvoll war, wird es heute auch über andere, moderne Medien wie z.B. USB oder Ethernet übertragen. Es wird dabei aber immer noch dasselbe 40 Jahre Protokoll verwendet.

3.1 Midi Protokoll

Das MIDI Protokoll unterscheidet zwischen den Befehlen und Nutzdaten/Parametern dieser Befehle. Ein MIDI Befehl ist in einem MIDI Datenstrom mit gesetztem MSB gekennzeichnet, bei den Datenbytes ist dieser Bit immer gelöscht. Somit stehen sowohl bei den Befehlen, als auch bei den Daten 128 Kombinationen zur Zustandsunterscheidung vorhanden.

MIDI Kanäle

Das unterste Nibble eines Befehls kodiert den Kanal für den dieser Befehl zuständig ist. Somit können 16 Logische Kanäle pro eine Physikalische MIDI Schnittstelle adressiert werden. Das obere Nibble definiert den Befehl an sich. Ausgenommen davon sind alle Befehle

Ein Befehl wird mit

3.2 MIDI MPE

MIDI MPE ist eine Erweiterung des MIDI Standards um eine Einschränkung des Systems umzugehen und eine dynamische Spielweise auf modernen Controllern zu ermöglichen, als es bei den reinen Standard der Fall wäre. Die Idee ist hier jede Note auf einem einzelnen Kanal zu übertragen

3.3 MIDI Befehle

Ein Synthesizer will ja auch noch irgendwie von außen gesteuert werden. Zu diesem Zweck ist bereits vor einer Ewigkeit ist die MIDI Schnittstelle (Musical Instrument Digital Interface) konzipiert worden. Diese Definiert einem Übertragungsprotokoll mit dem Musikinstrumente miteinander Kommunizieren. Das was damals state of the Art war - eine Serielle Übertragung mit 31250 Bits Pro Sekunde ist heute eher eine Bremse die, aber durch hohe Verbreitung des MIDI Standards nicht Tot zu kriegen ist. Der größte Nachteil ist heutzutage die geringe Geschwindigkeit – eine MIDI „Note On“ Nachricht braucht 3 Byte so braucht ein 3 Note Akkord bereits 260 Bits und somit fast 4 ms Übertragungszeit. Eine Verzögerung von 4ms (+ die Verarbeitungszeit in dem Synthesizer) liegt eigentlich schon in dem Hörbaren Bereich. Das Problem wird dadurch verschärft das in der Musik Noten immer zu bestimmten Zeiten übertragen werden, danach passiert bis zu den nächsten Note nichts, so das die Theoretische Übertragungsmöglichkeit von 1302 Noten pro Sekunde im Normalfall nie erreicht wird.

- „Note on“ – eine Note spielen, als Parameter werden die Nummer der Note sowie die Geschwindigkeit mit der die Taste angeschlagen wurde.
- „Note off“ – eine Note ausschalten als Parameter werden die Nummer der Note sowie die Geschwindigkeit mit der die Taste losgelassen wurde. Viele Geräte nutzen aber statt dessen zum ausschalten den „Note on“ Befehl mit der Anschlaggeschwindigkeit von 0.
- „Aftertouch“ – Damit ist ein Wert der dem Druck auf die Tastatur ausgeübt wird gemeint. Es kann entweder als Mono- (für alle Tasten gleichzeitig) oder als Polyphoner-Wert (für jede Taste einzeln) übertragen werden.
- „Controll change“ (CC) – Steuerwerte der Parameter eines Synthesizers
- „Program Change“ – ein Programm (Parametersatz) wird
- „Pitch bend“ - Manuelle Tonhöhen Verschiebung
- System (Exclusive) Messages – Start ,stop, Clock usw. sowie Gerätespezifische Blockdaten.

3.3.1 Noten

Die Eingabe der zu spielenden Noten erfolgt über die Note On Befehle. Dabei wird die Anschlaggeschwindigkeit (nicht die Stärke!) sowie die gewünschte Notenummer als Parameter übergeben. Eine Note ist solange Aktiv bis entweder ein „Note Off“, oder ein „Note On“ Befehl mit Velocity = 0 und der gleichen Notenummer empfangen wird.

3.3.2 Steuerung über CC / Nrpn

Zu manuellen Steuerung der Parameter des Synthesizer werden sogenannte CC „Continuous Controller“) verwendet. Es stehen 127 verschiedene Controller zu Verfügung, von denen allerdings bereits einige in der MIDI Spezifikation festen Steuerwerten zugeordnet sind. Die übertragenen Steuerwerte sind auf 7Bit (0..127) beschränkt. Neben dieser Möglichkeit die Werte direkt zu übertragen gibt es noch eine weitere über die sogenannten nrpn (non registered parameter numbers) zu übertragen. Dabei werden 4 Controller (CC99, CC98, CC6 CC38) verwendet um einem 14Bit Controller Index und einem 7 oder 14 Bit Steuerwert zu übertragen (CC38 ist optional).

3.3.3 Übertragung

Die Übertragung der MIDI Daten erfolgt für gewöhnlich über 5 polige DIN Stecker, der Kabel über dem Übertragen wird ist allerdings selbst nur 3 Adrig. Für Kleingeräte hat sich auch ein Miniklinkenstecker für MIDI etabliert. Außerdem bieten viele heutige Geräte auch noch eine Übertragung des MIDI Protokolls über USB (MIDI over USB).

3.3.4 MIDI Controller

MIDI Daten können z.B. von einem Sequenzer, oder einem sog. MIDI Kontrollleur erzeugt werden. Ein MIDI Kontrollleur kann vielfältige Formen haben, es gibt diese in Form einer „Normale“ Klaviertastatur, als (Schlag-),„Flächenfelder“ (Abbildung 3), Drehreglerfelder (auch Abbildung 3) und etlichen weiteren „exotischen“ Formen (Abbildung 4). Auch Hardwaresynthesizer die über einem MIDI Out Port verfügen können als MIDI Kontrollleur verwendet werden.

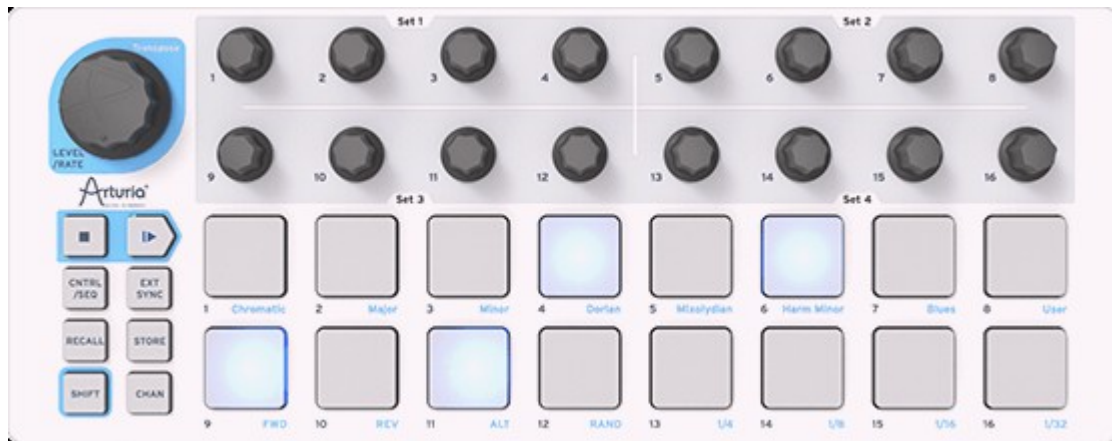


Abbildung 3: Einfacher MIDI Kontrollleur (Arturia BeatStep)



Abbildung 4: Casio DG-20 Keytar - auch als MIDI Kontrollleur verwendbar (Quelle CataWiki)

Table of Figures

Abbildung 1 Rechteckwelle aus 10 Harmonischen.....	4
Abbildung 2 Spektrum einer Rechteckwelle.....	4
Abbildung 3: Einfacher MIDI Kontrolleur (Arturia BeatStep).....	8
Abbildung 4: Casio DG-20 Keytar - auch als MIDI Kontrolleur verwendbar (Quelle CataWiki).....	8