

*Elektroniczne instrumenty muzyczne*

# MIDI

Sterowanie elektronicznymi  
instrumentami muzycznymi



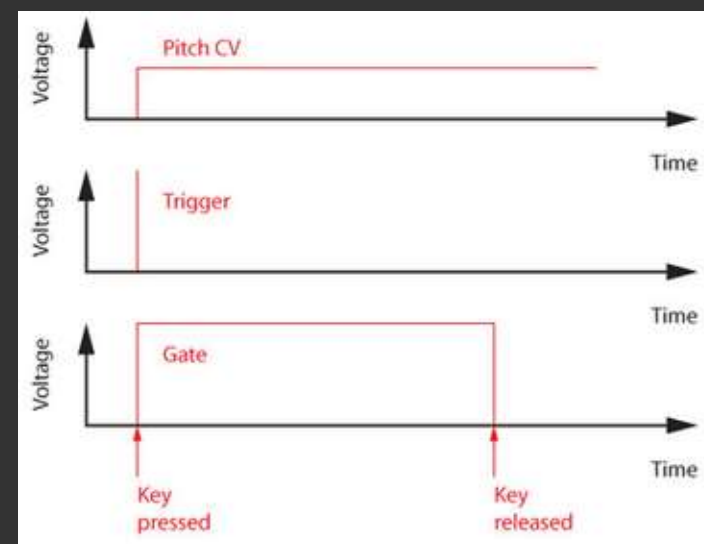
Opracowanie: Grzegorz Szwoch, Politechnika Gdańska, Katedra Systemów Multimedialnych

# Generowanie dźwięków z syntezy

Standardowy sposób wytwarzania dźwięków za pomocą syntezy:  
za pomocą klawiatury muzycznej.

Co dzieje się, gdy **wciśniemy klawisz** w **analogowym, monofonicznym** syntezy?

- **Pitch CV** – napięcie sterujące kierowane do oscylatorów (VCO). Jego wartość wyznacza częstotliwość generowanej fali. Typowa konwencja: 1V na oktawę.
- **Gate** – napięcie ma stan wysoki gdy klawisz jest wciśnięty, niski gdy jest zwolniony. Typowo 5 V / 0 V. Służy do sterowania generatorami obwiedni (EG).
- **Trigger** – krótki impuls wytwarzany po wciśnięciu klawisza. Wyzwala generator obwiedni. Nie w każdym instrumencie jest używany.



# Sekwencer

- Sygnały sterujące (*Pitch CV, Gate, Trigger*) można również dostarczyć z zewnętrznego urządzenia, poprzez wejścia syntezy.
- **Sekwencer** (*sequencer*) wytwarza zaprogramowane sekwencje sygnałów sterujących, generujące dźwięki z syntezy w sposób automatyczny.
- Sekwencer zastępuje muzyka w generowaniu np. podkładów rytmicznych - perkusji, linii basu, itp.



# Tempo sekwencera

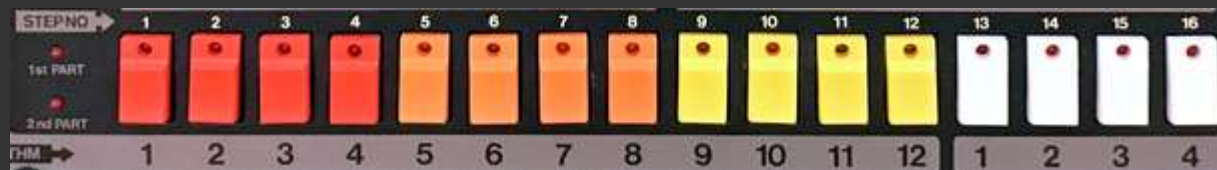
---

- Sekwencer jest sterowany **sygnałem zegarowym** (*clock*) – falą prostokątną, generowaną w sekwencerze lub dostarczaną z zewnątrz.
- **Tempo** jest wyrażane **liczbą uderzeń na minutę** (*beats per minute, BPM*). Jedno uderzenie odpowiada czasowi trwania ćwierćnoty (♩).
- Jedno **uderzenie** (*beat*) trwa (**60/BPM**) sekund. Np. 120 BPM: 1 beat = 0,5 s.
- **Rozdzielczość** zegara jest wyrażana w liczbie impulsów na ćwierćnotę (*pulses per quarter note, PPQM*). Typowo jest równa 24 lub jej wielokrotność.
- Tempo sekwencera może być też wykorzystane do sterowania częstotliwością LFO lub wielkością opóźnienia w efektach dźwiękowych (**tempo sync**). Zamiast ustalać częstotliwość LFO w Hz, można ją podać jako wartość skali sekwencera. Np. 1/4 oznacza okres LFO równy 1 uderzeniu.

# Sekwencer krokowy

---

- Sekwencer krokowy (*step sequencer*): **wzorzec** (*pattern*) ma ustaloną liczbę **kroków** (*steps*), np. 16 kroków.
- Każdy krok może mieć zaprogramowane instrukcje generowania dźwięków.
- Wzorce są odgrywane z zapętleniem.
- Czasami można łączyć różne wzorce (np. A, B, *Fill*).
- Sekwencer krokowy jest typowo stosowany do generowania partii perkusyjnych i basowych (ale nie tylko).



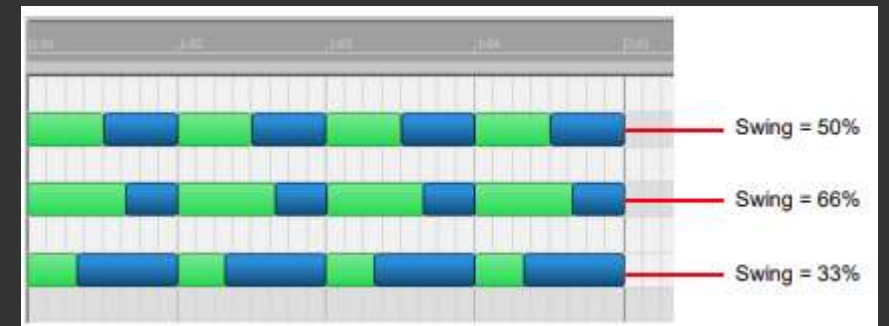
# Sekwencer krokowy

---

- **Skala** sekwencera: wartość nuty dla kroku = czas trwania kroku.
- Np. skala 1/4: każdy krok trwa jedno uderzenie.
- Standardowo: skala 1/16, 1 krok = 1/4 uderzenia, 4 kroki = 1 uderzenie.
- Np. tempo 120 BPM: 1 uderzenie = 0.5 s; skala 1/16: 1 krok = 0.125 s.
- 4 uderzenia typowo tworzą **takt** (*bar, measure*).
- Typowe skale: 1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64.
- **Triplet** (T): skala mnożona przez (2/3), np.:  $1/8T = (2/3) \cdot (1/8) = 1/12$ .
- **Dot** (.): skala mnożona przez (3/2) np. 1.8. (rzadko spotykane).
- **Gate** (bramka): czas trwania nuty w ramach kroku:
  - początek nuty (faza A): zawsze w 0% kroku,
  - zwolnienie nuty (faza R): w % kroku ustalonym przez *gate*, np. 75%.

# Sekwencer krokowy

- W liniach melodycznych dla każdego kroku programuje się **wysokość** dźwięku (sekwencer zwykle rejestruje też *velocity*).
- W **sekwencerach perkusyjnych**: każdy instrument ma swoją osobną sekwencję, wszystkie sekwencje są odtwarzane równocześnie, w tym samym tempie. Nie ma wysokości dźwięku, zaznacza się tylko obecność dźwięku w danym kroku (często też *velocity*).
- **Tie** – przedłużenie kroku nutą o tej samej wysokości.
- **Rest** – pauza, pozostawienie pustego miejsca we wzorcu.
- **Swing**: przesuwająca co drugą nutę w czasie (zmiana rytmu).
- **Groove**: zaprogramowany wzorzec rytmiczny.



# Arpeggiator

---

- Arpeggiator służy do odgrywania zapętlonych sekwencji nut.
- Zwykle jest sterowany klawiaturą przez muzyka.
- Wszystkie nuty odpowiadające jednocześnie wciśniętym klawiszom są odgrywane **pojedynczo, jedna po drugiej**.
- Jeżeli np. zagramy akord C-E-G, będzie odgrywana sekwencja C,E,G,C,E,G,C,E,... (każdy dźwięk osobno).
- Kolejność odgrywania dźwięków może zwykle być ustawiana: *up, down, up & down*, losowo, w kolejności wciskania, itp.
- Można zmieniać oktawę przy kolejnych powtórzeniach, np. +1 oktawa.
- Ustawienia skali i bramki (*gate*) – tak samo, jak dla sekwencera.
- Arpeggiator jest również sterowany sygnałem zegarowym. Instrument ma jeden sygnał zegarowy do synchronizacji wszystkich bloków.



# Potrzeba synchronizacji

---

- Załóżmy, że mamy dwa sekwencery. Jeden steruje automatem perkusyjnym, drugi – syntezatorem basowym. Tempo jest to samo na obu sekwencerach.
- Jeżeli każdy sekwencer będzie używał niezależnego sygnału zegarowego, sygnały te będą przesunięte w fazie i generowane nuty będą przesunięte w czasie – sekwencje się „rozjadą”.
- **Synchronizacja** zapewnia równoczesne wyzwalenie kroków sekwencerów.
- Jeden z sekwencerów jest nadrzędny (*master*) – wytwarza sygnał zegarowy.
- Drugi sekwencer jest podrzędny (*slave*) – używa sygnału zegarowego dostarczonego przez pierwszy sekwencer.



# Sterowanie polifonicznymi synteзаторami

---

- Sytuacja komplikuje się w **polifonicznych** synteзаторach analogowych.
- Napięcia sterujące mogą kontrolować tylko jeden głos.
- Do uzyskania polifonii jest konieczne zastosowanie **cyfrowego układu sterującego**, który generuje napięcia kontrolne dla poszczególnych głosów.
- A zatem mamy cyfrowe interfejsy, które wymagają **protokołu** wymiany danych sterujących.
- Podobna sytuacja w czysto cyfrowych instrumentach.
- Problem: producenci zaczęli tworzyć swoje własne protokoły transmisji.
- Groziło to brakiem kompatybilności: urządzenia firmy „Y” nie mogą być sterowane urządzeniem firmy „R” i na odwrót.

# Powstanie MIDI

---

- Z inicjatywy firm *Roland* i *Sequential Circuits*, Dave Smith (z firmy SC) opracował propozycję standardu wymiany informacji sterujących pomiędzy cyfrowymi interfejsami elektronicznych instrumentów muzycznych.
- Na początku 1983 r. podczas targów zaprezentowano działanie: syntezator *SC Prophet-600* sterował syntezatorem *Roland JP-6*.
- W sierpniu 1983 opublikowano pierwszą specyfikację standardu: *Musical Instrument Digital Interface (MIDI)* - cyfrowy interfejs instrumentów muzycznych.
- Inne firmy, początkowo niechętne, stopniowo implementowały MIDI w swoich urządzeniach.
- Standard MIDI jest używany do dzisiaj, praktycznie we wszystkich EIM.

# Co daje muzykowi MIDI?

---

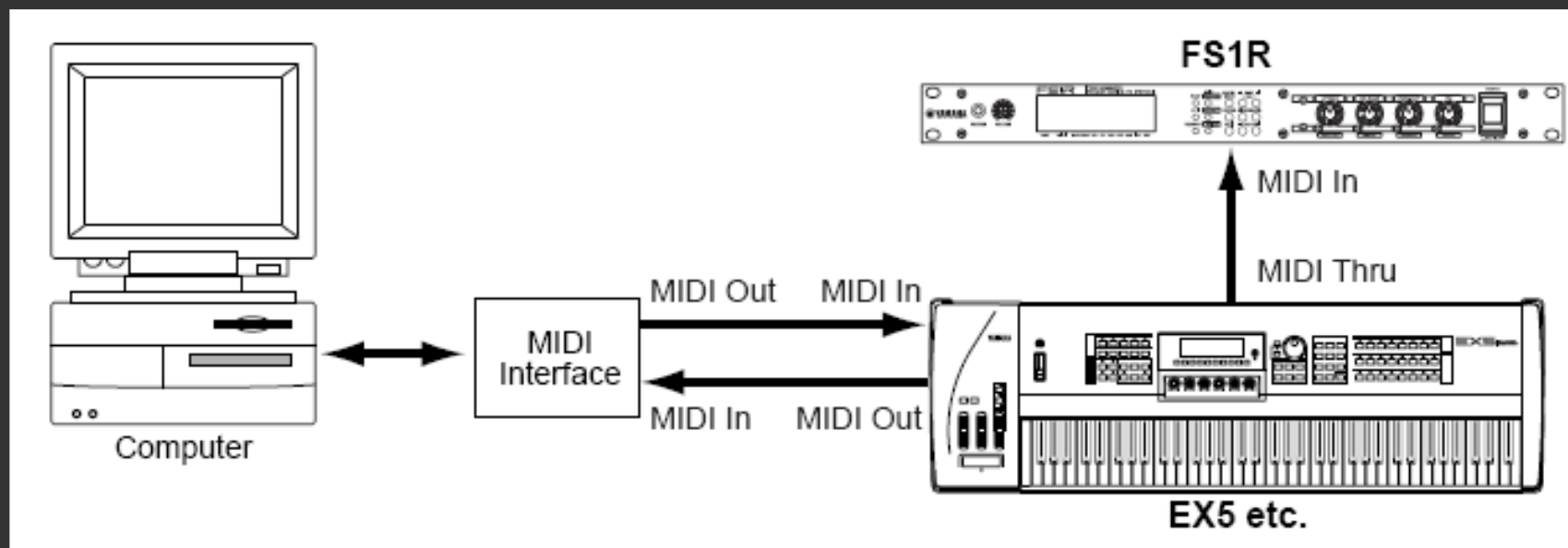
- Rozdzielenie funkcji EIM na:
  - sterownik – np. klawiatura, sekwencer,
  - moduł dźwiękowy – generujący dźwięki, np. syntezator, sampler.
- MIDI umożliwia sterowanie dowolnym modułem dźwiękowym przez dowolny sterownik. Np. jedna klawiatura może sterować wieloma syntezatorami.
- MIDI umożliwia synchronizację urządzeń.
- MIDI zapewnia kompatybilność – dowolne dwa urządzenia będą ze sobą współpracować, jeżeli tylko obsługują MIDI.



# Co daje muzykowi MIDI?

Typowy przykład wykorzystania MIDI do grania na instrumencie:

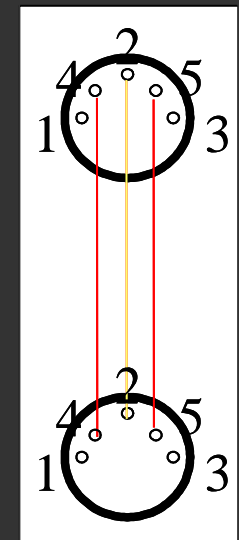
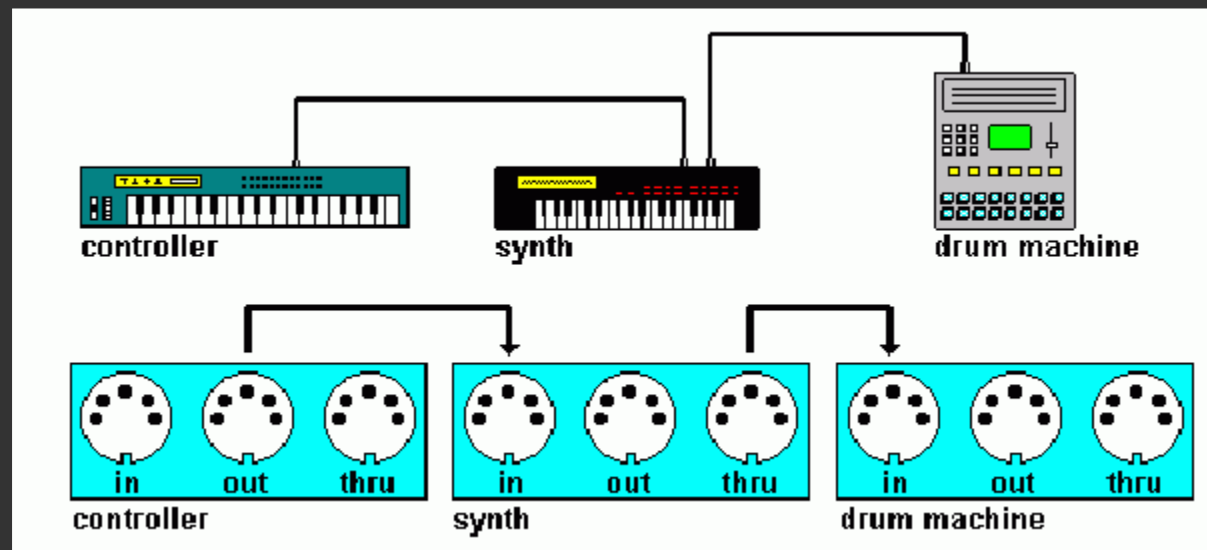
- muzyk posiada klawiaturę sterującą MIDI,
- kupuje syntezator, jako moduł *rack* (bez klawiatury),
- podłącza klawiaturę do syntezatora, gra partie wiodące,
- podłącza komputer przez MIDI – programowy sekwencer generuje partie tła.



# Interfejs MIDI

Klasyczny interfejs MIDI, oparty na złączach DIN:

- **IN** – wejście, odbierane komunikaty,
- **OUT** – wyjście, generowane komunikaty,
- **THRU** – wyjście, na które przekazywane są sygnały z wejścia IN („prześciówka”).



# Połączenie MIDI ⇔ komputer

---

Metody podłączenia urządzenia MIDI do komputera.

- Poprzez interfejs **MIDI-USB** (prosta przejściówka na przewodzie, ok. 50 zł.), podłączenie do portu MIDI w urządzeniu i USB w komputerze.
- **USB-MIDI** – większość współczesnych urządzeń ma wbudowany interfejs USB, wystarczy go podłączyć przewodem do portu USB w komputerze, działa *plug & play* (nie wymaga sterowników).
- **rtpMIDI** – transmisja danych MIDI przez połączenie sieciowe, często bezprzewodowe (Wi-Fi); wspierane przez urządzenia Apple.
- Niektóre interfejsy dźwiękowe na USB posiadają złącza MIDI.



# Latencje MIDI w komputerze

---

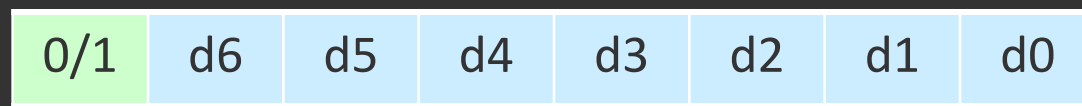
- **Latencja** (*latency*) w MIDI to **opóźnienie** między wygenerowaniem komunikatu (np. wciśnięciem klawisza) a otrzymaniem efektu (wytworzeniem dźwięku).
- Jeżeli komputer generuje dźwięk (np. przez programowy syntezytor), należy zminimalizować latencję wprowadzaną przez system operacyjny.
- W systemie Windows – wybór podsystemu dźwiękowego w oprogramowaniu:
  - MME – najstarszy, duże latencje, nie używać!
  - ASIO – wymaga dedykowanych sterowników, ASIO4ALL – substytut,
  - DirectX (DirectSound) – lepszy niż MME, wychodzi już z użycia,
  - WASAPI – najnowszy podsystem, zredukowane latencje, zalecany.
- W MacOS nie ma problemu. W Linuksie trzeba stosować specjalne jądro (*low latency kernel*) i skonfigurować podsystem dźwiękowy (np. JACK).



# Transmisja danych w MIDI

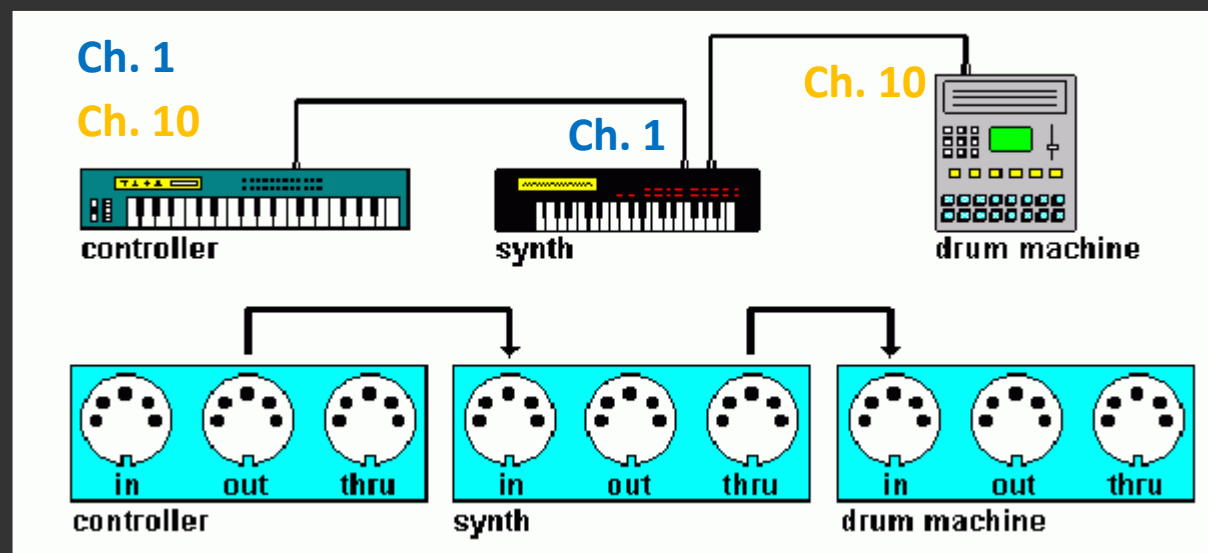
---

- Interfejs MIDI przekazuje **tylko dane sterujące**, nigdy dźwięk cyfrowy.
- Transmisja danych MIDI jest szeregową, bit po bicie.
- Prędkość transmisji: 31,25 kbit/s.
- Dane są przekazywane jako **8-bitowe słowa** (bajty).
- Jeżeli naciśniętych zostaje pięć klawiszy naraz, odstęp pomiędzy komunikatem dla pierwszego i piątego klawisza wynosi ok. 4,8 ms. Powoduje to **latencje** - opóźnienia.
- Komunikaty MIDI są przesyłane według ustalonych priorytetów, tak aby zminimalizować odczuwalne latencje.



# Kanały w MIDI

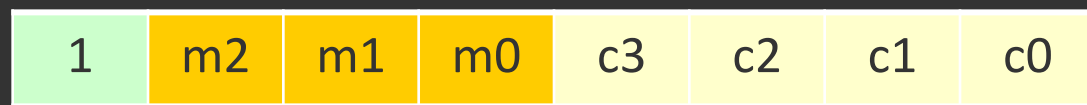
- Transmisja danych MIDI może się odbywać za pośrednictwem **16 kanałów** logicznych (MIDI *channels*).
- Urządzenie może wysyłać komunikaty na jednym lub wielu kanałach.
- Urządzenie może odbierać komunikaty dla jednego wybranego kanału, ignorując komunikaty z pozostałych kanałów.
- Może też działać w trybie *omni*, odbierając komunikaty z wszystkich kanałów.
- Kanały pozwalają np. sterować wieloma modułami dźwiękowymi za pomocą jednego sterownika.



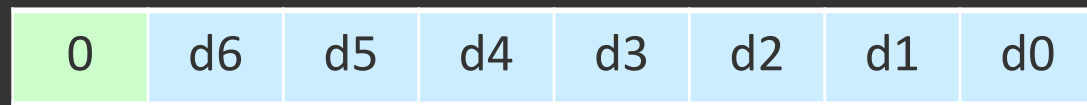
# Komunikaty MIDI

---

- Typowe komunikaty MIDI są transmitowane jako ciąg: bajt stanu + jeden lub dwa bajty danych.
- **Bajt stanu** (*status byte*)
  - najstarszy bit = 1 (wartości bajtu: 128..255)
  - 3 bity: typ komunikatu (7 możliwych typów),
  - 4 bity: numer kanału (0-15 dla kanałów 1-16).



- **Bajt danych** (*data byte*)
  - najstarszy bit = 0 (wartości bajtu: 0..127)
  - 7 bitów: wartość parametru (0-127).



# Komunikaty głosowe

---

Istnieje siedem komunikatów głosowych (*channel voice message*), sterujących wytwarzaniem dźwięków przez moduł dźwiękowy.

- 000: *Note Off* – koniec generowania nuty (zwolnienie); dane: wysokość, prędkość (*velocity*)
- 001: *Note On* – początek generowania nuty; dane: wysokość, prędkość (*velocity*)
- 010: *Poly Key Pressure* – dociskanie klawisza (*aftertouch*) dla pojedynczej nuty
- 011: *Control Change* (CC) – zmiana parametru instrumentu; dane: kod i wartość parametru
- 100: *Program Change* – zmiana programu (brzmienia); dane: numer programu
- 101: *Channel Pressure* – dociskanie klawisza (*aftertouch*) dla całego kanału
- 110: *Pitch Bend* – pokrętko zmiany wysokości; dane: wartość LSB, MSB

# Przykład komunikatu MIDI

---

Komunikat *Note On* – polecenie wygenerowania dźwięku:

- **1001**cccc – bajt stanu (1), identyfikator komunikatu *Note On* (001), numer kanału (cccc, od 0 do 15, np. 0 = kanał 1)
- 0nnnnnnnn – bajt danych (0), oznaczenie wysokości dźwięku (nnnnnnnn),
- 0vvvvvvv – bajt danych (0), prędkość naciskania klawisza (*velocity*, vvvvvvv), od 1 (najwolniej) do 127 (najszybciej), domyślnie: 64

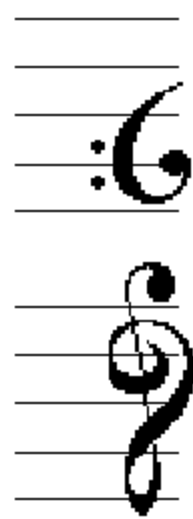
Przykład: *Note On* (001) , kanał 2 (0001), nuta A4 ( $a^1$ ) = 69, max. *velocity* (127):

**10010001** 0**1000101** 0**1111111** = 145, 69, 127 = 91, 45, 7F hex

# Wysokość dźwięku w MIDI

- Wysokość dźwięku jest wyrażona w **półtonach**.
- Wartość **69** odpowiada wysokości **A4** (polskie a<sup>1</sup>), która definiuje częstotliwość dla zastosowanego stroju muzycznego.
- Standardowo **69 = 440 Hz**, ale moduł dźwiękowy może to interpretować zależnie od ustawień.
- Zakres klawiatury pianina: 21 – 108 (A0-C8).
- Wartość 60 = środkowe C (C4, c<sup>1</sup>).

MIDI number	Note name	Keyboard	Frequency Hz		Period ms	
21	A0		27.500		36.36	
23	B0		30.868	29.135	32.40	34.32
24	C1		32.703		30.58	
26	D1		36.708	34.648	27.24	28.86
28	E1		41.203	38.891	24.27	25.71
29	F1		43.654		22.91	
31	G1		48.999	46.249	20.41	21.62
33	A1		55.000	51.913	18.18	19.26
35	B1		61.735	58.270	16.20	17.16
36	C2		65.406		15.29	
38	D2		73.416	69.296	13.62	14.29
40	E2		82.407	77.782	12.13	12.86
41	F2		87.307		11.45	
43	G2		97.999	92.499	10.20	10.81
45	A2		110.00	103.83	9.091	9.631
47	B2		123.47	116.54	8.099	8.581
48	C3		130.81		7.645	
49	D3		146.83	138.59	6.811	7.216
50	E3		164.81	155.56	6.068	6.428
52	F3		174.61		5.727	
53	G3		196.00	185.00	5.102	5.405
55	A3		220.00	207.65	4.545	4.816
57	B3		246.94	233.08	4.050	4.290
60	C4		<b>261.63</b>		<b>3.822</b>	
62	D4		293.67	277.18	3.405	3.608
64	E4		329.63	311.13	3.034	3.214
65	F4		349.23		2.863	
67	G4		392.00	369.99	2.551	2.703
68	A4		<b>440.00</b>	415.30	<b>2.273</b>	2.408
69	B4		493.88	466.16	2.025	2.145
72	C5		523.25		1.910	
74	D5		587.33	554.37	1.703	1.804
76	E5		659.26	622.25	1.517	1.607
77	F5		698.46		1.432	
79	G5		783.99	739.99	1.276	1.351
81	A5		880.00	830.61	1.136	1.204
83	B5		987.77	932.33	1.012	1.073
84	C6		1046.5		0.9556	
86	D6		1174.7	1108.7	0.8513	0.9020
88	E6		1318.5	1244.5	0.7584	0.8034
89	F6		1396.9		0.7159	
91	G6		1568.0	1480.0	0.6378	0.6757
93	A6		1760.0	1661.2	0.5682	0.6020
95	B6		1975.5	1864.7	0.5062	0.5363
96	C7		2093.0		0.4778	
98	D7		2349.3	2217.5	0.4257	0.4510
99	E7		2637.0	2489.0	0.3792	0.4018
101	F7		2793.0		0.3580	
103	G7		3136.0	2960.0	0.3189	0.3378
105	A7		3520.0	3322.4	0.2841	0.3010
107	B7		3951.1	3729.3	0.2531	0.2681
108	C8		4186.0		0.2389	



# Komunikaty kontrolne (*Control Change*)

---

- Komunikaty kontrolne CC – *Control Change* służą do sterowania sposobem wytwarzania brzmienia przez moduł dźwiękowy.
- Pokręta, suwaki, itp. na sterowniku (np. klawiaturze) generują komunikaty CC, które mogą być interpretowane przez moduł dźwiękowy.
- Dwa bajty danych: kod typu parametru i wartość parametru (0-127).
- Część komunikatów jest ustalona (np. 1: *Modulation wheel*), inne mogą być interpretowane na różny sposób.
- Sterowniki (klawiatury) MIDI są zwykle konfigurowalne, można zdefiniować numer kodu CC wysyłanego przez dane pokrętło/suwak.



# Komunikaty kontrolne (CC)

Lista wszystkich komunikatów CC.

Parametry 0-31 mogą mieć wartości 14-bitowe, młodszy bajt (LSB) jest przesyłany parametrem  $n+32$ . Rzadko się z tego korzysta (np. *Bank Select* używa dwóch komunikatów).

Zaleca się, aby funkcja obsługiwana danym CC odpowiadała jego nazwie.

Komunikaty *undefined* można dowolnie wykorzystywać do własnych potrzeb.

0	00H	Bank Select
1	01H	Modulation wheel or lever
2	02H	Breath Controller
3	03H	Undefined
4	04H	Foot controller
5	05H	Portamento time
6	06H	Data entry MSB
7	07H	Channel Volume (formerly Main Volume)
8	08H	Balance
9	09H	Undefined
10	0AH	Pan
11	0BH	Expression Controller
12	0CH	Effect Control 1
13	0DH	Effect Control 2
14-15	0E-0FH	Undefined
16-19	10-13H	General Purpose Controllers (#'s 1-4)
20-31	14-1FH	Undefined
32-63	20-3FH	LSB for values 0-31
64	40H	Damper pedal (sustain)
65	41H	Portamento On/Off
66	42H	Sostenuto
67	43H	Soft pedal
68	44H	Legato Footswitch (vv = 00-3F:Normal, 40-7F=Legatto)
69	45H	Hold 2
70	46H	Sound Controller 1 (default: Sound Variation)
71	47H	Sound Controller 2 (default: Timbre/Harmonic Intensity)
72	48H	Sound Controller 3 (default: Release Time)
73	49H	Sound Controller 4 (default: Attack Time)
74	4AH	Sound Controller 5 (default: Brightness)
75-79	4BH-4FH	Sound Controllers 6-10 (no defaults)
80-83	50-53H	General Purpose Controllers (#'s 5-8)
84	54H	Portamento Control
85-90	55-5AH	Undefined
91	5BH	Effects 1 Depth (formerly External Effects Depth)
92	5CH	Effects 2 Depth (formerly Tremolo Depth)
93	5DH	Effects 3 Depth (formerly Chorus Depth)
94	5EH	Effects 4 Depth (formerly Celeste (Detune) Depth)
95	5FH	Effects 5 Depth (formerly Phaser Depth)
96	60H	Data increment
97	61H	Data decrement
98	62H	Non-Registered Parameter Number LSB
99	63H	Non-Registered Parameter Number MSB
100	64H	Registered Parameter Number LSB
101	65H	Registered Parameter Number MSB
102-119	66-77H	Undefined
120-127	78-7FH	Reserved for Channel Mode Messages



# Komunikaty kontrolne (CC)

---

Przykład praktycznego wykorzystania komunikatów CC.

- Chcemy sterować częstotliwością odcięcia filtra VCF w synteźatorze.
- Z dokumentacji synteźatora odczytujemy, że częstotliwości filtra odpowiada komunikat CC o numerze 74 (*Brightness*).
- Konfigurujemy klawiaturę MIDI tak, aby wybrane pokręćło przesyłało kod CC 74.
- Czasami trzeba skonfigurować synteźator przypisując kod CC do parametru.
- Zmiany ustawienia pokręćła powodują przesyłanie kodów CC 74 do synteźatora.
- Synteźator interpretuje kod CC 74 i używa przesłanej wartości do zmiany częstotliwości odcięcia filtra.
- Kody CC mogą być przesyłane ze sterownika (np. klawiatury) lub z sekwencera.

## Polecenia trybu (*Channel mode messages*)

---

**Polecenia trybu** (*channel mode messages*) sterują trybem pracy instrumentu.

- 120: *All Sound Off* – natychmiastowe wyłączenie wszystkich generowanych dźwięków w danym kanale (tzw. *MIDI Panic*).
- 121: *Reset All Controllers* – przywrócenie domyślnych wartości wszystkich kontrolerów (pokręteł, itp.).
- 122: *Local Control* – włączenie/wyłączenie przesyłania poleceń MIDI do modułu dźwiękowego normalnie połączonego ze sterownikiem,
- 123: *All Notes Off* – zwolnienie wszystkich nut w danym kanale,
- 124-127: *Omni, Poly, Mono* – wybór trybu polifonii i sposobu przypisania głosów do kanałów.

# Komunikaty NRPN

---

- Komunikaty CC mają w większości zdefiniowane znaczenie, mogą nie wystarczyć do potrzeb sterowania modułem dźwiękowym (np. syntezytor mający 100 parametrów).
- Komunikaty CC typu *Non-Registered Parameter Number (NRPN)* mogą być wykorzystywane w dowolny sposób. Nie są przenośne między urządzeniami.
- Nazwa i wartość parametrów mogą być zapisane na 14 bitach (16384 wart.).
- Sposób przesyłania: cztery komunikaty CC (często używa się tylko 99, 6):
  - CC 99: NRPN MSB, nazwa parametru (MSB, bity 13-8)
  - CC 98: NRPN LSB, nazwa parametru (LSB, bity 7-0)
  - CC 6: *Data Entry* MSB, wartość parametru (MSB, bity 13-8)
  - CC 38: *Data Entry* LSB, wartość parametru (LSB, bity 7-0)

# Program i bank

---

- **Program** to zbiór ustawień modułu dźwiękowego, który generuje dane brzmienie (**instrument**).
- Komunikat MIDI **Program Change** wysłany do modułu powoduje wczytanie danego programu – zmianę instrumentu. Wartość przesłana w komunikacie to numer programu (0-127).
- **Bank** w MIDI to zbiór max. 128 programów, między którymi można się przełączać za pomocą *Program Change*.
- Polecenie zmiany banku wymaga wysłania komunikatu CC **Bank Select**: CC 0 (MSB numeru banku), CC 32 (LSB numeru banku).

# General MIDI

---

- W banku zgodnym ze standardem *General MIDI* (GM), numery **programów** są przypisane do konkretnych nazw brzmień (**instrumentów**).
- Jeżeli moduł dźwiękowy obsługuje standard *General MIDI*, to wybór programu w tym banku powinien spowodować generowanie przez moduł brzmienia odpowiadającego nazwie programu (np. *Piano, Trombone*).
- Moduł dźwiękowy nie musi wspierać *General MIDI* (np. syntezator subtraktywny). Standard ma sens głównie dla instrumentów opartych na nagranych próbkach brzmień.
- Oprócz banku zgodnego z *General MIDI*, moduł może dostarczać też inne banki programów, z dowolnym przypisaniem brzmień.
- Standard *General MIDI* zapewnia kompatybilność pod względem brzmienia.

# General MIDI

Wszystkie programy  
w *General MIDI*  
12 grup po 8 programów.

Prog #	Instrument Group
1-8	Piano
9-16	Chromatic Percussion
17-24	Organ
25-32	Guitar
33-40	Bass
41-48	Strings
49-56	Ensemble
57-64	Brass
Prog #	Instrument Group
65-72	Reed
73-80	Pipe
81-88	Synth Lead
89-96	Synth Pad
97-104	Synth Effects
105-112	Ethnic
113-120	Percussive
121-128	Sound Effects

Prog # Instrument	Prog # Instrument	Prog # Instrument	Prog # Instrument
1. Acoustic Grand Piano	33. Acoustic Bass	65. Soprano Sax	97. FX 1 (rain)
2. Bright Acoustic Piano	34. Electric Bass (finger)	66. Alto Sax	98. FX 2 (soundtrack)
3. Electric Grand Piano	35. Electric Bass (pick)	67. Tenor Sax	99. FX 3 (crystal)
4. Honky-tonk Piano	36. Fretless Bass	68. Baritone Sax	100. FX 4 (atmosphere)
5. Electric Piano 1	37. Slap Bass 1	69. Oboe	101. FX 5 (brightness)
6. Electric Piano 2	38. Slap Bass 2	70. English Horn	102. FX 6 (goblins)
7. Harpsichord	39. Synth Bass 1	71. Bassoon	103. FX 7 (echoes)
8. Clavi	40. Synth Bass 2	72. Clarinet	104. FX 8 (sci-fi)
9. Celesta	41. Violin	73. Piccolo	105. Sitar
10. Glockenspiel	42. Viola	74. Flute	106. Banjo
11. Music Box	43. Cello	75. Recorder	107. Shamisen
12. Vibraphone	44. Contrabass	76. Pan Flute	108. Koto
13. Marimba	45. Tremolo Strings	77. Blown Bottle	109. Kalimba
14. Xylophone	46. Pizzicato Strings	78. Shakuhachi	110. Bag pipe
15. Tubular Bells	47. Orchestral Harp	79. Whistle	111. Fiddle
16. Dulcimer	48. Timpani	80. Ocarina	112. Shanai
17. Drawbar Organ	49. String Ensemble 1	81. Lead 1 (square)	113. Tinkle Bell
18. Percussive Organ	50. String Ensemble 2	82. Lead 2 (sawtooth)	114. Agogo
19. Rock Organ	51. SynthStrings 1	83. Lead 3 (calliope)	115. Steel Drums
20. Church Organ	52. SynthStrings 2	84. Lead 4 (chiff)	116. Woodblock
21. Reed Organ	53. Choir Aahs	85. Lead 5 (charang)	117. Taiko Drum
22. Accordion	54. Voice Oohs	86. Lead 6 (voice)	118. Melodic Tom
23. Harmonica	55. Synth Voice	87. Lead 7 (fifths)	119. Synth Drum
24. Tango Accordion	56. Orchestra Hit	88. Lead 8 (bass + lead)	120. Reverse Cymbal
25. Acoustic Guitar (nylon)	57. Trumpet	89. Pad 1 (new age)	121. Guitar Fret Noise
26. Acoustic Guitar (steel)	58. Trombone	90. Pad 2 (warm)	122. Breath Noise
27. Electric Guitar (jazz)	59. Tuba	91. Pad 3 (polysynth)	123. Seashore
28. Electric Guitar (clean)	60. Muted Trumpet	92. Pad 4 (choir)	124. Bird Tweet
29. Electric Guitar (muted)	61. French Horn	93. Pad 5 (bowed)	125. Telephone Ring
30. Overdriven Guitar	62. Brass Section	94. Pad 6 (metallic)	126. Helicopter
31. Distortion Guitar	63. SynthBrass 1	95. Pad 7 (halo)	127. Applause
32. Guitar harmonics	64. SynthBrass 2	96. Pad 8 (sweep)	128. Gunshot

# Zestawy perkusyjne

- Dla dźwięków **instrumentów perkusyjnych o nieustalonej wysokości** nie ma sensu tworzyć osobnych programów dla całego zakresu klawiatury.
- Przyjęto konwencję, w której program zawierający dźwięki perkusyjne (*drum set*) ma przypisane różne brzmienia do różnych **wysokości** dźwięku.
- Jeżeli moduł dźwiękowy jest ustawiony na **kanale 10** MIDI, to zamiast standardowego banku *General MIDI* powinien używać **zestawu perkusyjnego**.

MIDI Key	Drum Sound	MIDI Key	Drum Sound	MIDI Key	Drum Sound
35	Acoustic Bass Drum	51	Ride Cymbal 1	67	High Agogo
36	Bass Drum 1	52	Chinese Cymbal	68	Low Agogo
37	Side Stick	53	Ride Bell	69	Cabasa
38	Acoustic Snare	54	Tambourine	70	Maracas
39	Hand Clap	55	Splash Cymbal	71	Short Whistle
40	Electric Snare	56	Cowbell	72	Long Whistle
41	Low Floor Tom	57	Crash Cymbal 2	73	Short Guiro
42	Closed Hi Hat	58	Vibraslap	74	Long Guiro
43	High Floor Tom	59	Ride Cymbal 2	75	Claves
44	Pedal Hi-Hat	60	Hi Bongo	76	Hi Wood Block
45	Low Tom	61	Low Bongo	77	Low Wood Block
46	Open Hi-Hat	62	Mute Hi Conga	78	Mute Cuica
47	Low-Mid Tom	63	Open Hi Conga	79	Open Cuica
48	Hi Mid Tom	64	Low Conga	80	Mute Triangle
49	Crash Cymbal 1	65	High Timbale	81	Open Triangle
50	High Tom	66	Low Timbale		

# Polecenia *System Exclusive*

---

- Polecenia *System Exclusive* (**SysEx**) to komunikaty MIDI, które producent urządzenia sam definiuje według swoich potrzeb.
- Wykorzystywane są do przesyłania dłuższych danych binarnych.
- Wartości są zapisywane na 7 bitach, co wymaga specjalnego kodowania danych 8-bitowych (np. *packed MS*).
- Polecenia SysEx są specyficzne dla konkretnego urządzenia.
- Typowe zastosowania: wgrywanie i kopiowanie programów (*patch*), aktualizacja oprogramowania (*firmware*).



# Synchronizacja MIDI

---

- MIDI umożliwia również przesyłanie **sygnału zegarowego** (*MIDI clock*).
- Służy on do **synchronizowania instrumentów** – podobnie jak w przypadku analogowych instrumentów.
- Sekwencer może sam wytwarzać sygnał zegarowy, albo może używać sygnału pobranego z wejścia interfejsu MIDI.
- Komunikaty synchronizujące są przesyłane z częstotliwością 24 komunikaty na uderzenie (24 PPQN), liczba uderzeń na minutę (BPM) zależy od ustalonego tempa. Są to komunikaty czasu rzeczywistego (*realtime*).
- Oprócz komunikatów zegarowych (*clock*) mogą być przesyłane komunikaty: *start, stop, continue* (sterowanie sekwencją) oraz *Song Position Pointer* (SPP) – określenie pozycji w sekwencji.

# Karta implementacji MIDI

## MIDI Implementation Chart

Specyfikacja obsługi MIDI przez urządzenie.

Kolumny:

- typ komunikatu,
- wysyłany (*transmitted*),
- odbierany (*recognized*),
- opis.

Oznaczenia:

- O – obsługiwany,
- X – nieobsługiwany.

	Function	Transmitted	Recognized	Remarks
Basic Channel	Default Changed	1 - 7, 10 X	1 - 16 X	
Mode	Default Messages Altered	Mode 3 *****	Mode 1 Mode 1,2 (M=1)	*1 *2
Note Number	True Voice	0 - 127 *****	0 - 127 0 - 127	
Velocity	Note ON Note OFF	O *3 X	O X	
After Touch	Key's Ch's	X X	O *3 O *3	
Pitch Bend		X	O *3	
Control Change	0,32	X	O *3	Bank select
	1	X	O *3	Modulation
	5	X	O *3	Portamento time
	6,38	X	O *3	Data entry
	7	X	O *3	Volume
	10	X	O *3	Panpot
	11	X	O *3	Expression
	64	X	O *3	Hold 1
	65	X	O *3	Portamento
	66	X	O *3	Sostenuto
	67	X	O *3	Soft
84	X	O *3	Portamento ctrl	
91	X	O (Reverb) *3	Effect 1 depth	
93	X	O (Chorus) *3	Effect 3 depth	
98,99	X	O *3	NRPN lsb,msb	
100,101	X	O *3	RPN lsb,msb	
Program Change	True #	X *****	O *3 0 - 127	Program # 1-128
System Exclusive		O	O	

# Klawiatura MIDI

- klawisze muzyczne (dynamiczne – odczyt *velocity* i *aftertouch*),
- pady perkusyjne,
- pokrętła *pitch bend* i *modulation*,
- pokrętła i suwaki (CC),
- sterowniki nożne (*sustain*, *expression*),
- wyświetlacz,
- czasami: sekwencer, arpeggiator.



# Inne sterowniki MIDI

---

Kontroler perkusyjny  
(MIDI *drum pad*)



Perkusja MIDI  
(MIDI *drum kit*)



Gitara MIDI  
(MIDI *guitar*)



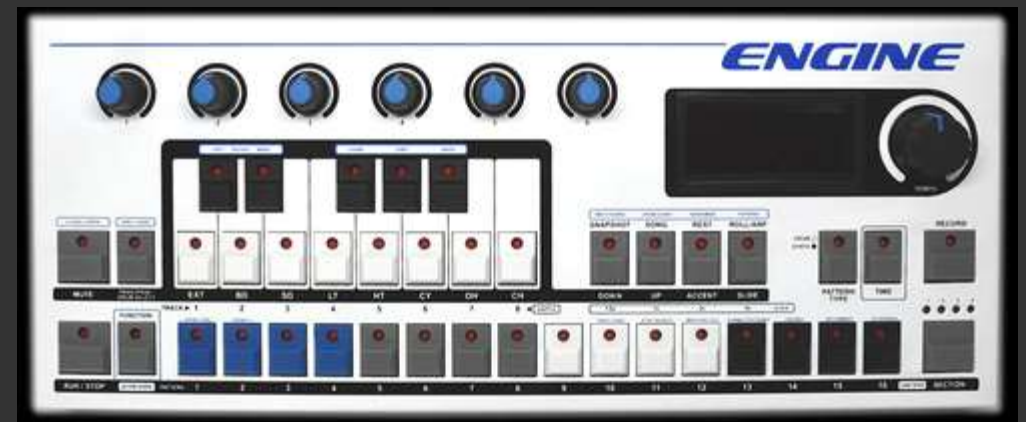
Kontroler dla DJ-ów  
(MIDI *DJ controller*)



# Sekwencer MIDI

---

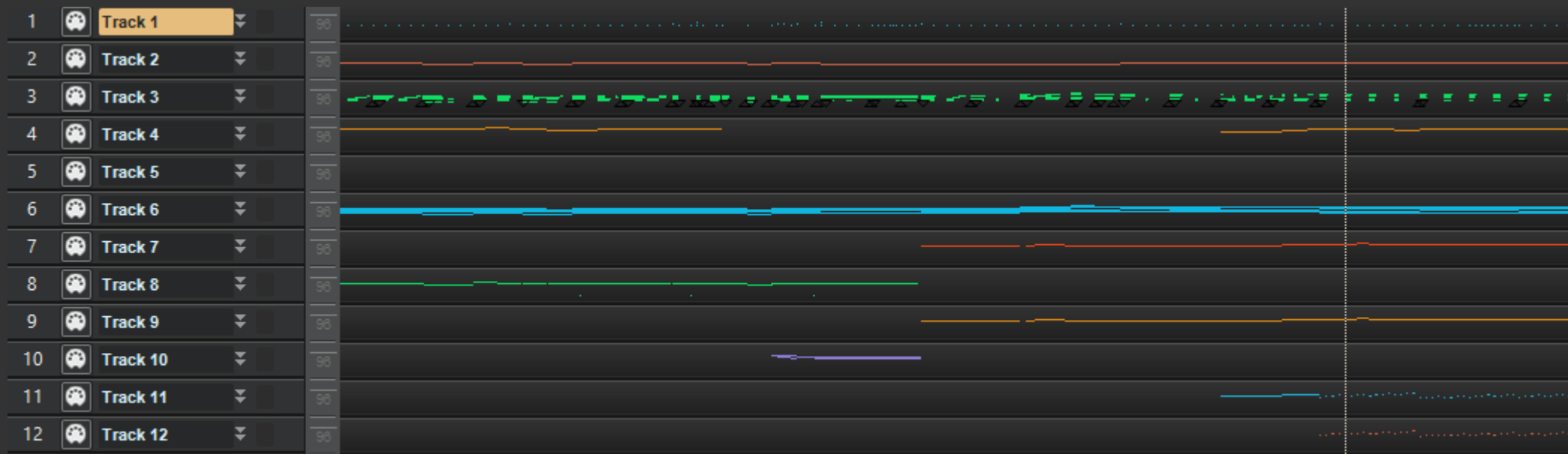
- Sekwencer MIDI (*MIDI sequencer*) rejestruje i odtwarza sekwencje kodów MIDI.
- Zastępuje muzyka, automatycznie generując sekwencje dźwięków.
- Sekwencery MIDI mogą być samodzielными urządzeniami.
- W roli sekwencerów często używa się programów komputerowych (DAW).
- Oprogramowanie pozwala również na edycję kodów MIDI.
- Sekwencery bywają wbudowane w sterowniki MIDI (np. klawiatury).
- Możliwa jest konwersja między cyfrowymi komunikatami MIDI a analogowym napięciem kontrolnym (CV), w obie strony.



Social Entropy Engine

# Programowy sekwencer MIDI

Widok **ścieżek** (*tracks*). Każda ścieżka zwykle zawiera kody MIDI dla innego instrumentu, na osobnym kanale MIDI.



# Programowy sekwencer MIDI

Widok *piano roll* – zobrazowanie wysokości i czasu trwania nut dla jednej ścieżki.



# Programowy sekwencer MIDI

Widok zapisu nutowego (*score, staff*)

The image shows a musical score for a track labeled '6: Tra'. It consists of two staves: a treble clef staff on top and a bass clef staff on the bottom. The score is divided into measures numbered 2 through 12. The notes are primarily blue, with some accidentals (sharps and flats) and rests. The notation includes eighth and sixteenth notes, as well as chords.

Widok komunikatów (*MIDI events*)

Trk	HMSF	MBT	Ch	Kind	Data	
6	00:00:03:06	2:01:000	7	Control	91 : Reverb Send [PART 07]	40
6	00:00:03:06	2:01:000	7	Control	93 : Chorus Send [PART 07]	64
6	00:00:06:12	3:01:000	7	Note	65	2:000
6	00:00:06:12	3:01:000	7	Note	53	2:000
6	00:00:06:12	3:01:000	7	Note	60	2:000
6	00:00:06:12	3:01:000	7	Note	69	2:000
6	00:00:06:12	3:01:000	7	Note	41	2:000
6	00:00:08:00	3:03:000	7	Note	65	2:000
6	00:00:08:00	3:03:000	7	Note	53	2:000
6	00:00:08:00	3:03:000	7	Note	70	2:000
6	00:00:08:00	3:03:000	7	Note	70	2:000
6	00:00:08:00	3:03:000	7	Note	41	2:000
6	00:00:08:00	3:03:000	7	Note	62	2:000
6	00:00:09:18	4:01:000	7	Note	53	2:000
6	00:00:09:18	4:01:000	7	Note	64	2:000
6	00:00:09:18	4:01:000	7	Note	41	2:000
6	00:00:09:18	4:01:000	7	Note	67	2:000
6	00:00:09:18	4:01:000	7	Note	72	2:000
6	00:00:09:18	4:01:000	7	Note	66	2:000
6	00:00:11:06	4:03:000	7	Note	53	1:000
6	00:00:11:06	4:03:000	7	Note	65	1:000



# Rejestracja kodów MIDI w sekwencerze

---

- Sekwencer lub ścieżkę trzeba „uzbroić” (*arm*) do nagrywania kodów MIDI.
- Rejestracja komunikatów MIDI jest możliwa na dwa sposoby:
  - **w czasie rzeczywistym** (*realtime recording*) – nagrywanie na żywo, podczas grania na sterowniku,
  - **krokowo** (*step recording*) – sekwencer czeka na wprowadzanie kolejnych komunikatów, podobnie jak w edytorze tekstu.
- Tryby rejestracji (różne nazwy, zależnie od producenta):
  - nadpisywanie – zastępowanie istniejących danych,
  - dopisywanie – łączenie nowych danych z już zarejestrowanymi,
  - uwarstwianie – rejestrowanie na osobnych warstwach, które później można wybierać, łączyć, itp.

# Możliwości edycji sekwencji MIDI

---

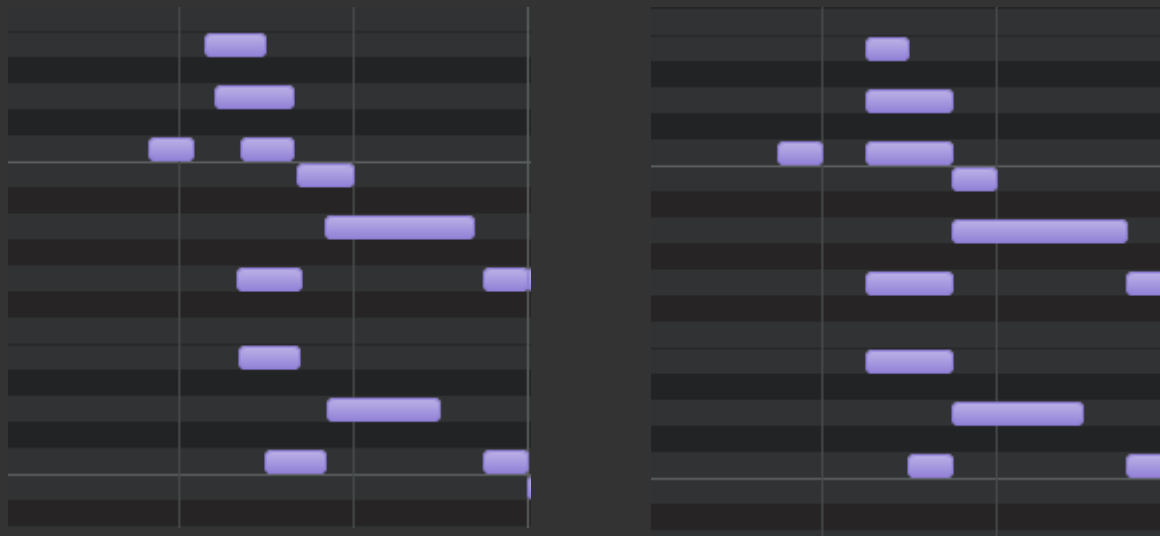
W programowych sekwencerach MIDI możliwe jest edytowanie zarejestrowanych sekwencji komunikatów MIDI, m.in.:

- ręczne dodawanie, usuwanie i modyfikacja nut,
- transpozycja – przesuwanie nut na skali wysokości dźwięku, zmiana tonacji,
- zmiana tempa i metrum,
- kwantyzacja – wyrównywanie położenia i wartości (długości) nut,
- „humanizacja” – wprowadzenie drobnych nierówności w układzie nut, pozwala uzyskać mniej „mechaniczne” brzmienie.

# Kwantyzacja nut

---

- Kwantyzacja (*quantization*) umożliwia wyrównywanie początków i czasu trwania nut do siatki wyznaczonej przez zadaną wartość nuty, np. ósemkę.
- Pozwala wyrównać nuty nierówno zagrane podczas rejestracji na żywo.
- *Groove quantization* – wyrównuje nuty do nieregularnej siatki, wyznaczonej przez wybrany wzorzec rytmiczny (*groove pattern*).



# Programy DAW

---

- Współczesne oprogramowanie *Digital audio workstation* (DAW) łączy:
  - ścieżki audio – rejestrowany jest dźwięk cyfrowy (instrumenty, wokal),
  - ścieżki MIDI – rejestrowane są kody MIDI, które można edytować.
- Kody MIDI są przesyłane podczas odtwarzania do:
  - zewnętrznych instrumentów, podłączonych do interfejsu MIDI,
  - programowych instrumentów (np. VST), umieszczonych na ścieżce.
- Podczas zgrywania (masteringu), kody ze ścieżek MIDI wysyłane są do instrumentów, które generują dźwięk.
- Ścieżkę MIDI można „zamrozić”, konwertując ją na ścieżkę audio (przydatne np. gdy instrument jest jednobrzmienny).
- Popularne DAW: Ableton Live, Cubase, Pro Tools, Cakewalk, Garage Band.

# Literatura

---

- MIDI *Tech Specs & Info*: <https://www.midi.org/techspecs/>
- The MIDI Specification: <http://midi.teragonaudio.com/tech/midispec.htm>
- P.D. Lehrman: What is MIDI? <https://mma.pages.tufts.edu/ctfm/WhatIsMIDI2017.pdf>
- Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/MIDI>
- Cakewalk by BandLab: <https://www.bandlab.com/products/cakewalk>

Materiały wyłącznie do użytku wewnętrznego dla studentów przedmiotu *Elektroniczne instrumenty muzyczne*, prowadzonego przez Katedrę Systemów Multimedialnych Politechniki Gdańskiej. Wykorzystywanie do innych celów oraz publikowanie i rozpowszechnianie zabronione.

This presentation is intended for internal use only, for students of Multimedia Systems Department, Gdansk University of Technology, attending the „Electronic musical instruments” course. Other uses, including publication and distribution, are strictly prohibited.