

Elektroniczne instrumenty muzyczne

SYNTEZA TABLICOWA,

SAMPLING

i metody pokrewne

Rozwój instrumentów subtrakcyjnych

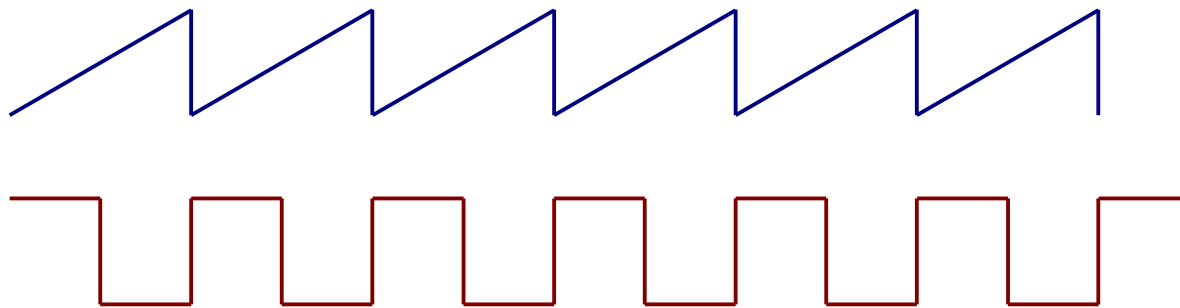
- Metoda **subtrakcyjna** polega na przetwarzaniu (filtracji, wzmacnianiu, modulowaniu) sygnałów z generatorów analogowych VCO (proste przebiegi – sinus, prostokątny, trójkątny, piłokształtny, impulsowy).
- Przełom lat 70/80: rozwój polifonicznych instrumentów subtrakcyjnych.
- Główny problem: rozstrajanie się generatorów (istotne przy polifonii).
- Analogowe generatory zastępowane są cyfrowymi – układy hybrydowe.

Generatory strojone cyfrowo

- W celu uzyskania stabilnej częstotliwości sygnału z generatorów VCO, zastosowano układ cyfrowy, który stale monitoruje częstotliwość generatora analogowego.
- Jeżeli odchyłka częstotliwości przekroczy dozwolony zakres, układ cyfrowy dostraja częstotliwość generatora.
- Układ taki nosi nazwę generatora sterowanego cyfrowo:
DCO – Digitally Controlled Oscillator

Zasada działania DCO

- Fala piłokształtna w analogowym VCO:
 - kondensator ładowany liniowo prądem
 - komparator „resetuje” ładunek gdy przekroczy on ustalony poziom
- DCO:
 - komparator zastąpiony sygnałem z generatora zegarowego (licznik cyfrowy)



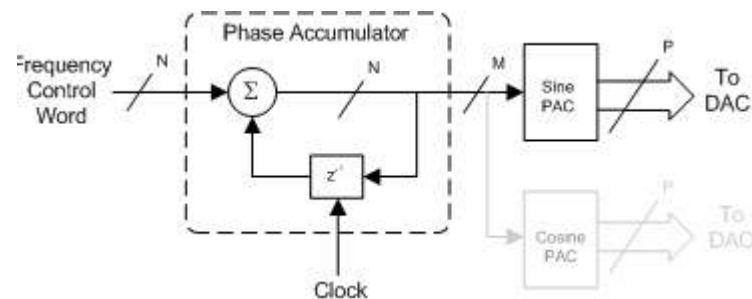
Zasada działania DCO

- Fala prostokątna:
 - przełączanie stanów „wysoki-niski” impulsami zegarowymi
- Fala sinusoidalna:
 - fala piłokształtna tworzy charakterystykę fazową sygnału sinusoidalnego,
 - konwerter fazowo-amplitudowy przetwarza ten sygnał na amplitudę – powstaje fala sinusoidalna

Generator NCO

NCO – Numerically Controlled Oscillator

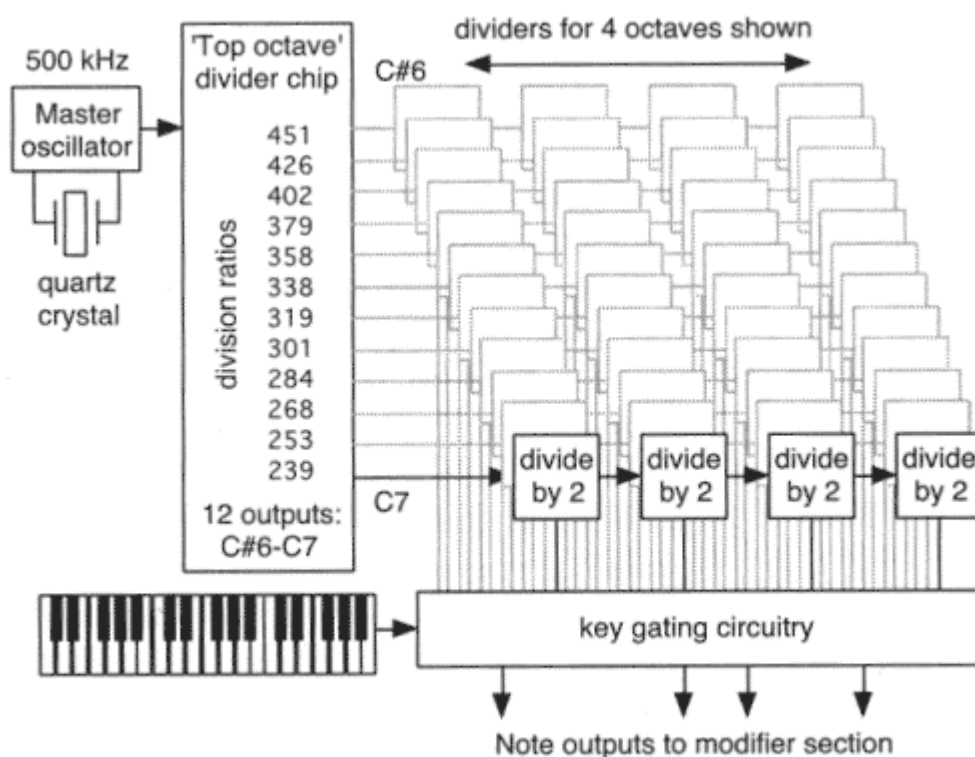
- inna konstrukcja generatora, czasami również określana jako DCO
- układ w pełni cyfrowy (bez kondensatora), akumulator fazowy tworzy falę piłokształtną



Źródło: Wikipedia

Generator zegarowy (sterujący)

Dzielniki częstotliwości tworzą sygnały o częstotliwościach potrzebnych do wytworzenia danej wysokości dźwięku.



Syntezaory wykorzystujące DCO

Układ hybrydowy (cyfrowo-analogowy):

- cyfrowy generator DCO,
- konwerter cyfrowo-analogowy,
- analogowy układ przetwarzania (VCF, VCA, LFO, EG) – jak w układzie subtraktywnym.

Przykłady instrumentów:

- Roland Juno (60, 106)
- Korg Poly (61, 800)
- Akai, Kawai

Syntezaory wykorzystujące DCO

Korg Poly-61 (1982)



Roland Juno-106 (1984)



SYNTEZA TABLICOWA (WAVETABLE)

Klasyczna metoda *wavetable*:

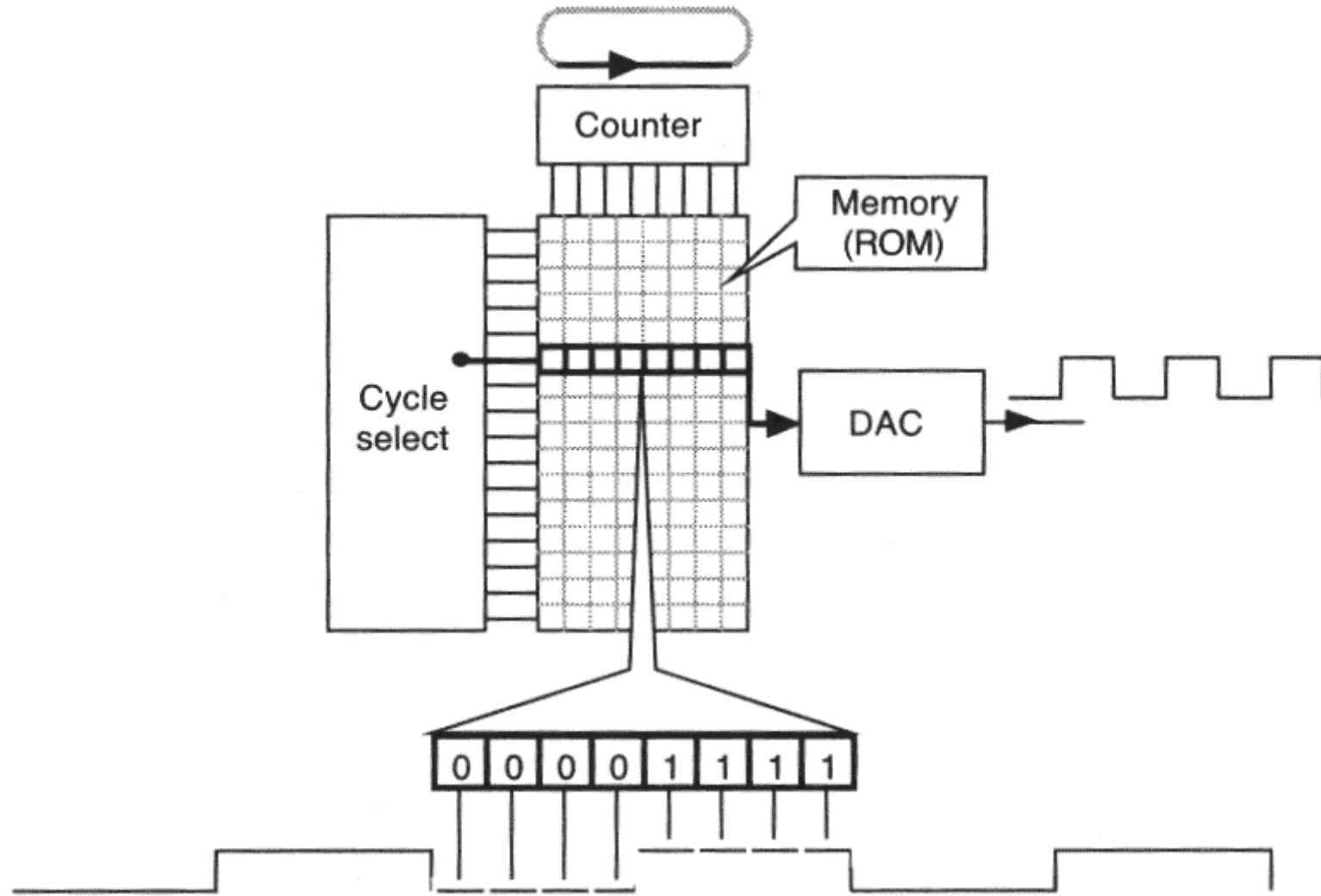
- Generatorem jest tablica próbek (*wavetable*) pojedynczego okresu sygnału (inna nazwa: *wavecycle*).
- Próbki są odczytywane i zapętlane.
- Konwerter cyfrowo-analogowy: szybkość konwersji steruje wysokością sygnału.
- Dalsze przetwarzanie (filtracja, modulacja, wzmacnianie) jest analogowe.

Termin *wavetable* czasami stosuje się również do metod *samplingowych*.

Synteza tablicowa wavecycle

- Pamięć jest zorganizowana w „wiersze” zawierające różne kształty fali.
- Wybrany wiersz jest odczytywany i zapętłany – tworzy jeden okres fali (stąd nazwa *wavecycle*).
- Możliwość zapisywania różnych kształtów fali
- Można odczytać więcej niż jeden wiersz i zapętlić całą sekwencję – *multi-cycle*.

Generator wavecycle



Generatory przebiegów wielookresowych

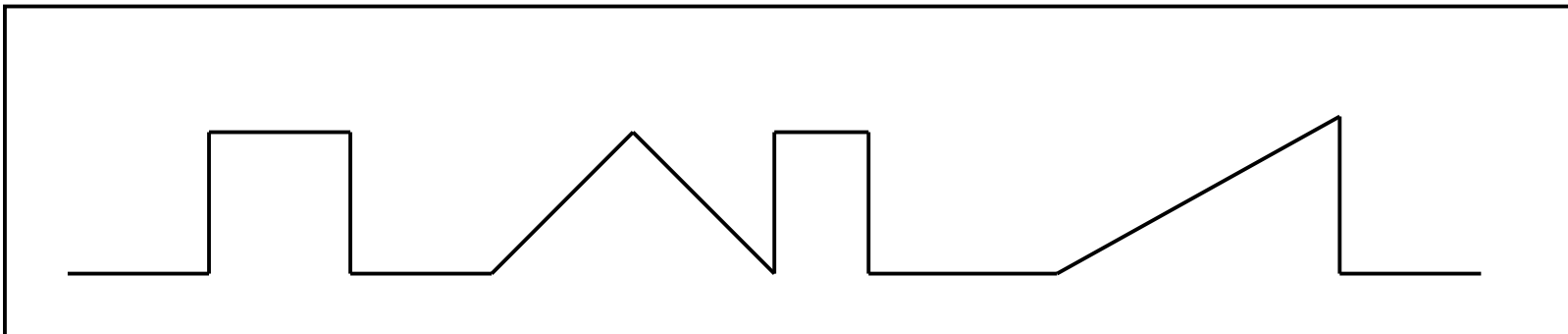
Generatory typu *multi-cycle oscillators* pozwalają wytworzyć sekwencję złożoną z więcej niż jednego okresu składowego.

Pojedyncze okresy różnych sygnałów są łączone w **sekwencje**, które są zapętlane.

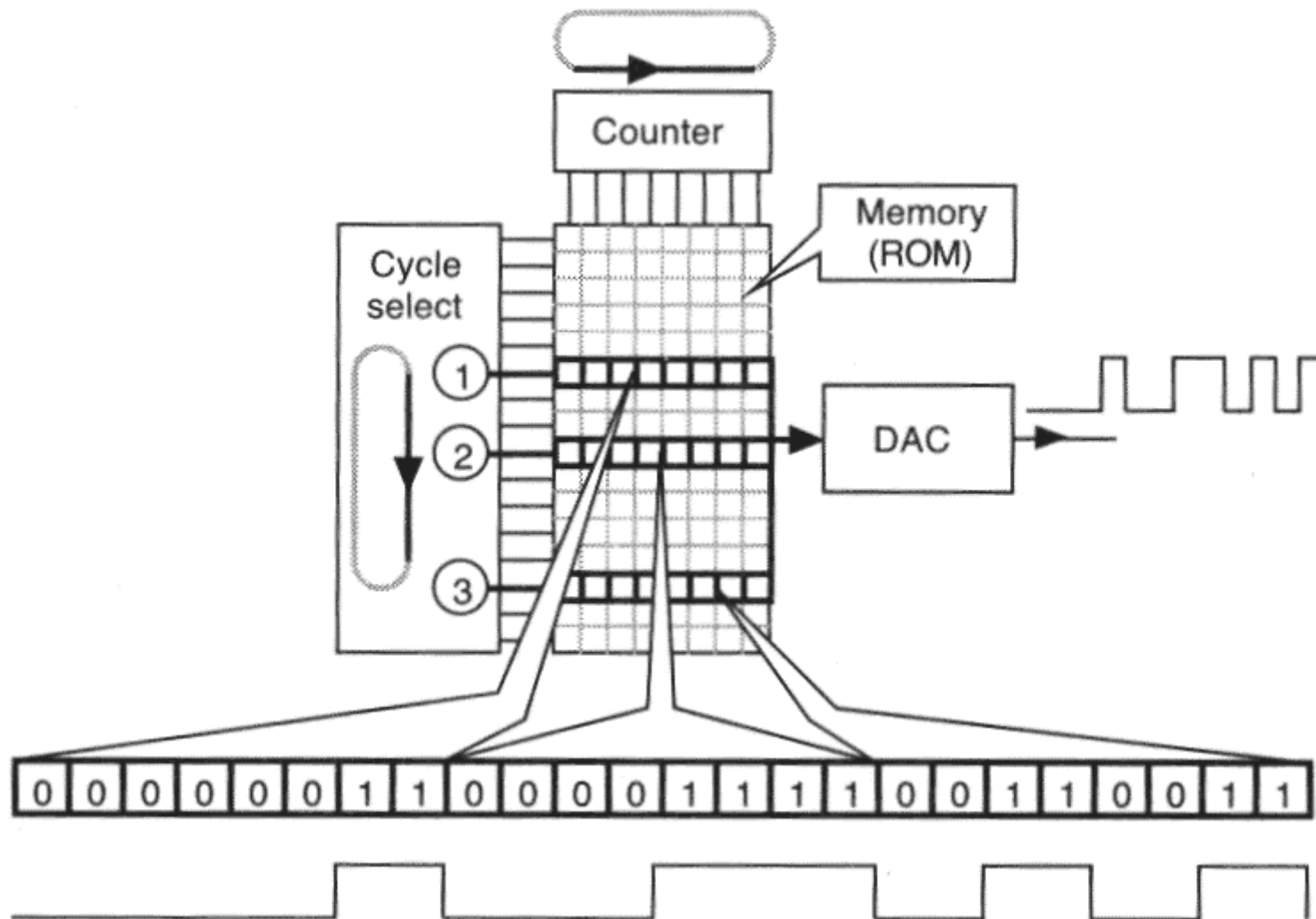
Przykład:

single-cycle: 111111... lub 222222... lub ...

multi-cycle: 15243152431524315243...



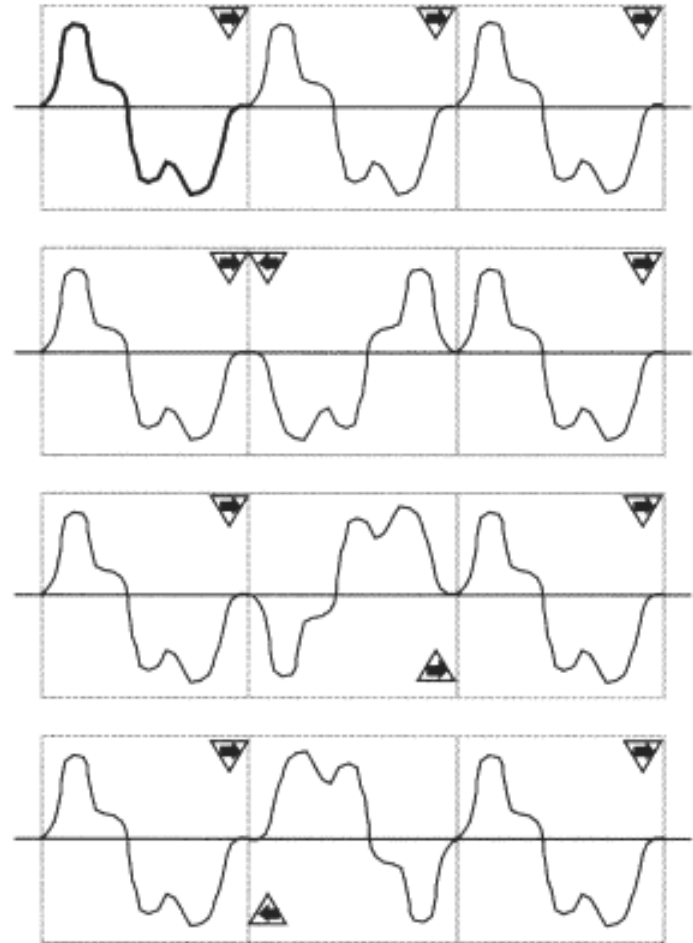
Generator multi-cycle



Odczyt elementów sekwencji

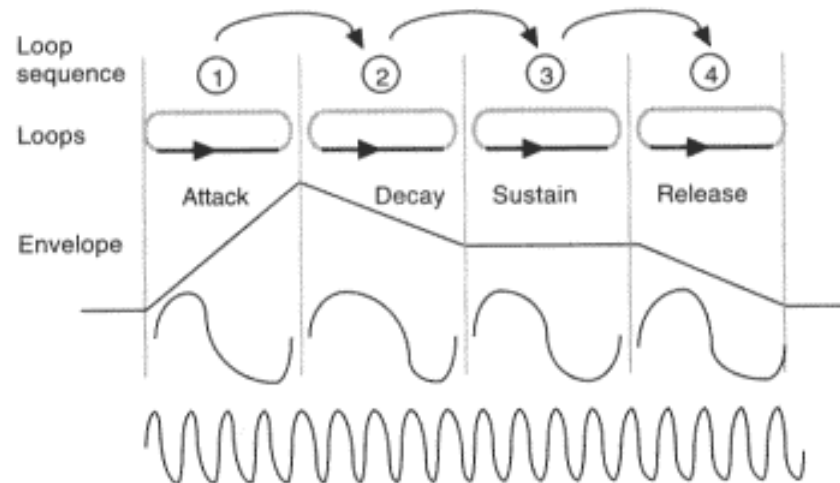
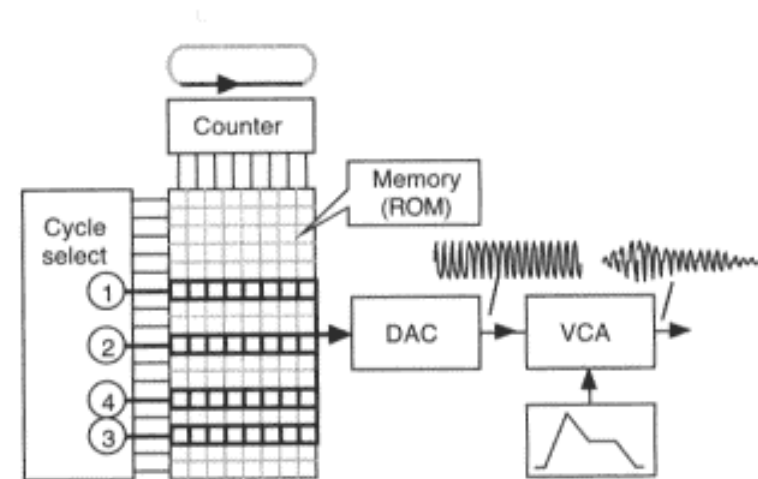
Zapisane w wierszach pamięci elementy sekwencji mogą być odczytywane za pomocą różnych metod:

- kolejno (123412341234...)
- kolejno w dwie strony (1234321234...),
- jw., ale przy odczycie w dół próbki „od tyłu”
- odwracanie w czasie wybranych fragmentów
- odwracanie fazy wybranych fragmentów



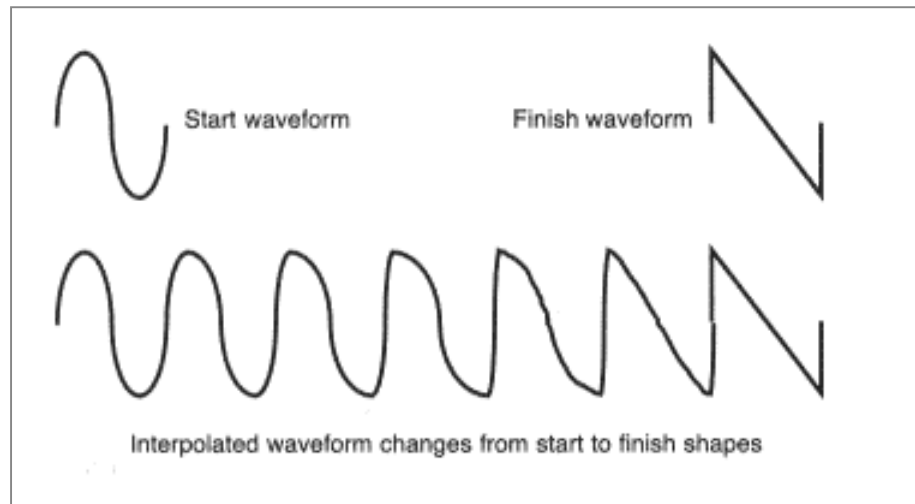
Sekwencja dla widma dynamicznego

Dla każdej z faz obwiedni ADSR stosuje się inny sygnał z tablicy. W ten sposób można uzyskać zmienność widma sygnału w stanach transjentowych.



Morfing kształtu fali

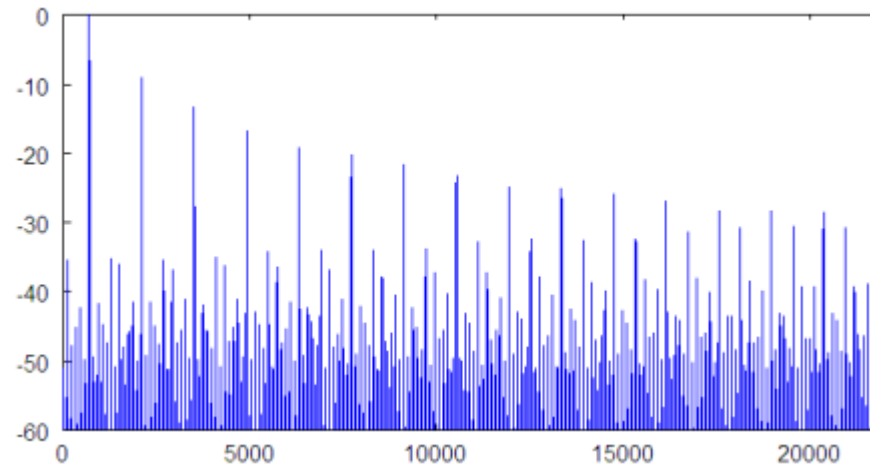
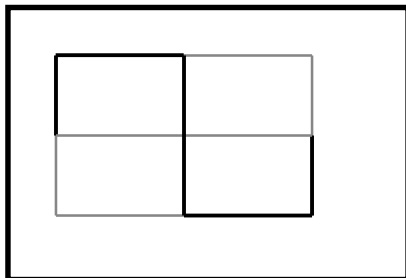
Morfing stosowano w celu uzyskania łagodnego przejścia pomiędzy dwoma sygnałami.



Metoda analogiczna do stosowanej w syntezie PD (zniekształcania fazy).

Problem aliasingu

- Sygnały zapisane w pamięci mogą mieć szerokie widmo.
- Jeżeli składowe widmowe przekroczą częstotliwość Nyquista ($F_S / 2$), nastąpi **aliasing** – nałożenie kopii widma.
- Efektem jest zniekształcenie barwy dźwięku.



Problem aliasingu

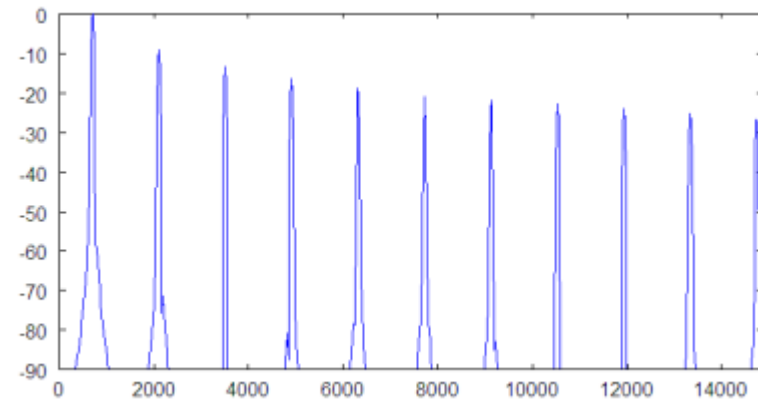
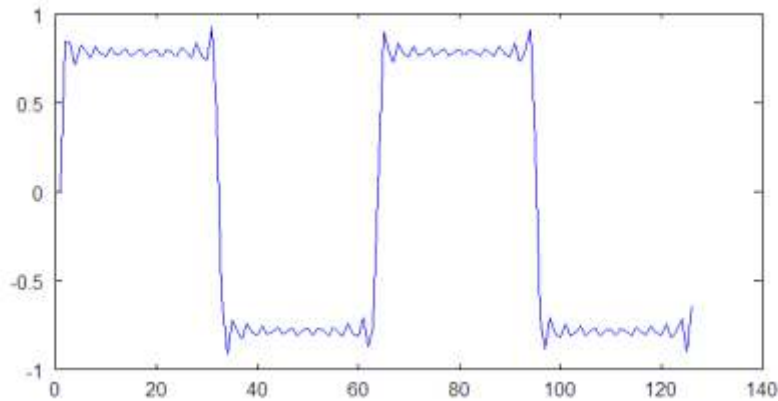
Aby uniknąć aliasingu należy zapisywać w tablicy sygnały o ograniczonym widmie (*bandlimited signals*). Wybrane metody:

- sumowanie składowych sinusoidalnych (szereg Fouriera) do $F_S / 2$
- filtracja dolnoprzepustowa sygnału
- specjalne algorytmy, np. BLIT (*band limited impulse train*): ciąg impulsów przemnożony przez $\sin(x)/x$ i spróbkowany, po jego przetworzeniu (całkowanie, filtracja) uzyskujemy użyteczne kształty fali

Problem aliasingu

Sygnały o ograniczonym paśmie mają przebieg czasowy odbiegający od „idealnego”. Wynika to z braku składowych wysokoczęstotliwościowych.

Np. fala prostokątna uzyskana metodą sumowania składowych sinusoidalnych do $21 \cdot f_0$:



Zmiana częstotliwości (transpozycja)

- W tablicy zapisane są sygnały o jednej (niskiej) częstotliwości.
- Metody uzyskania sygnału o wybranej częstotliwości (wysokości):
 - przez zmianę częstotliwości konwertera C/A; szybszy odczyt próbek z tablicy – większa częstotliwość sygnału; metoda stosowana w hybrydowych synteźatorach
 - przez zmianę kroku indeksu odczytywanych z tablicy próbek; większy krok to większa częstotliwość; metoda stosowana w cyfrowych układach syntezy

Odczyt sygnału z generatora (tablicy)

- Tablica zawiera N próbek okresu sygnału.
- Jeżeli odczytamy kolejno każdą próbkę, uzyskamy sygnał o częstotliwości F_S/N , np. $F_S = 44100$ Hz, $N = 1024$: $f = 43,07$ Hz
- Aby uzyskać dowolną częstotliwość f , należy przesunąć wskaźnik odczytu o wartość:
$$s = f * N / F_S$$
np. $f = 440$ Hz \rightarrow $s = 10,2168$
- W ogólnym przypadku, krok s jest liczbą niecałkowitą

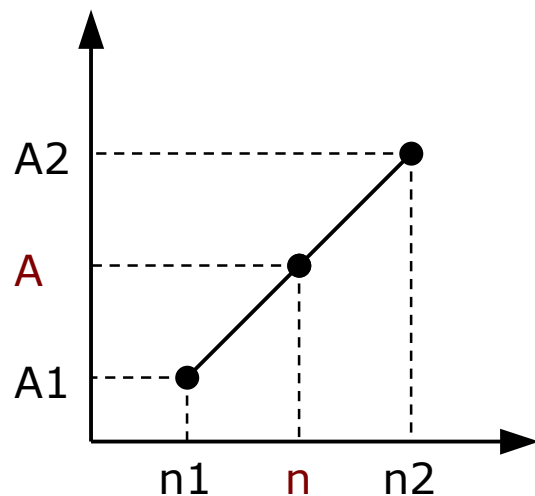
Odczyt sygnału z generatora (tablicy)

Jak odczytać z tablicy próbkę, której indeks jest niecałkowity, np. 30,6503?

- obciąć część ułamkową → 30
- zaokrąglić → 31
- interpolować
 - liniowo – najczęściej stosowana metoda
 - wielomianami – bardziej złożona, ale dokładniejsza metoda

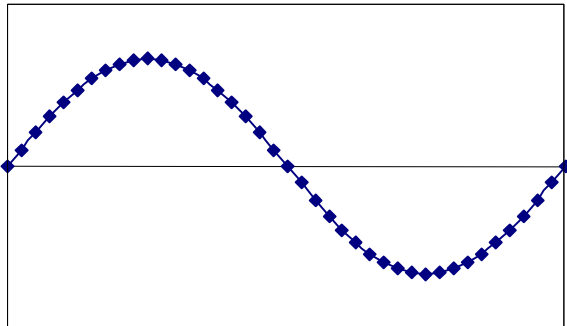
Interpolacja liniowa

- indeks próbki n leży między $n1$ i $n2$
($n2 - n1 = 1$)
- wartości odczytane z tablicy:
($n1, A1$) i ($n2, A2$)
- szukamy (n, A) metodą interpolacji liniowej:
$$A = A1 + (n1 - n)(A2 - A1)$$

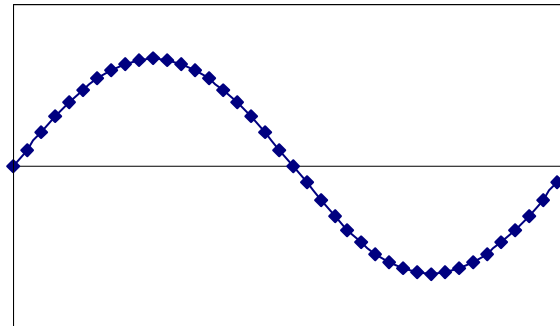


Przykład transpozycji

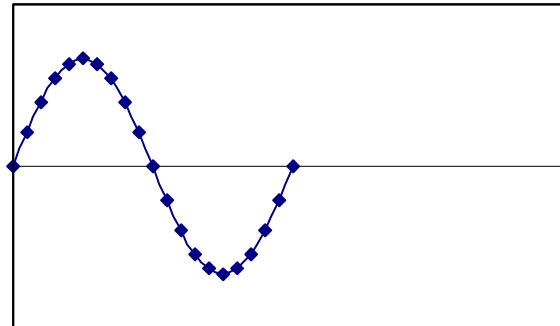
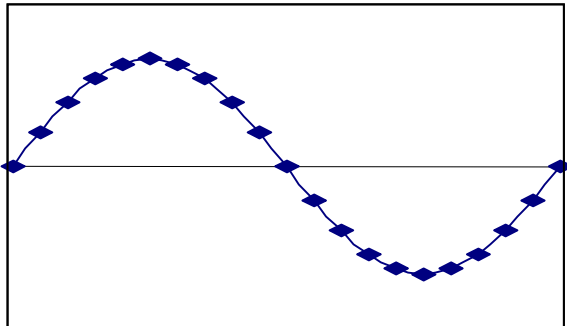
Odczyt



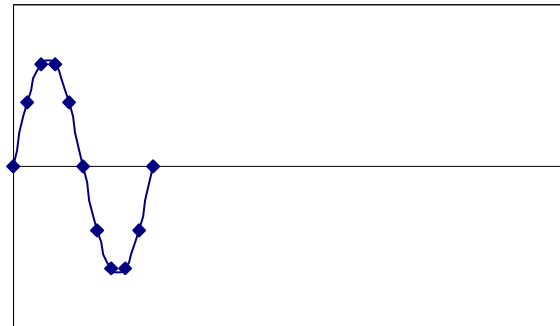
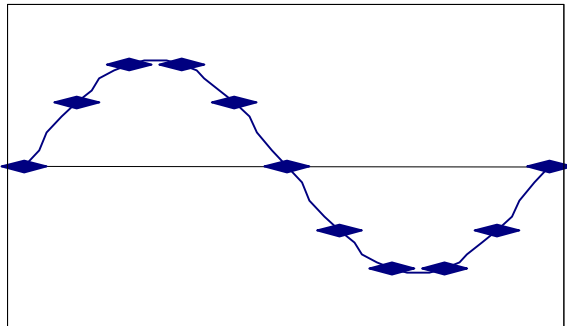
Sygnal wyjściowy



Niższa
częstotliwość



Sygnal
zapisany

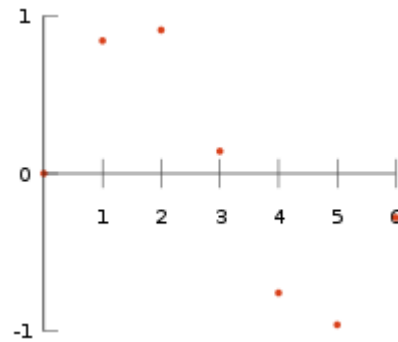


Wyższa
częstotliwość

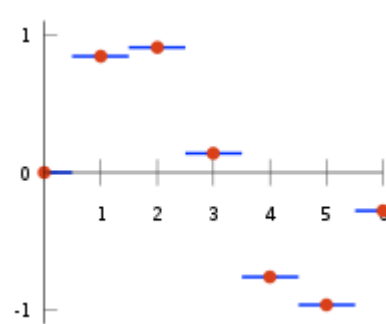
Interpolacja

Przykłady interpolacji (źródło: Wikipedia)

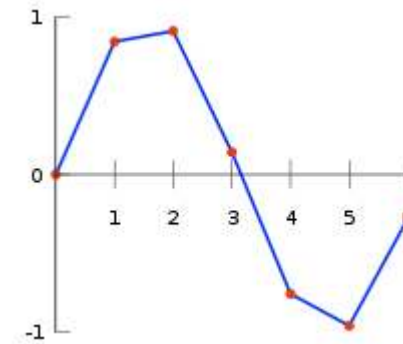
Tablica



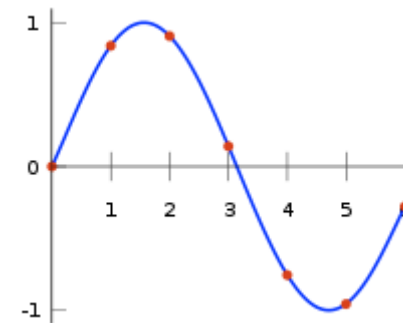
I. n-n



I. liniowa



I. wielomianowa



Problemy z transpozycją

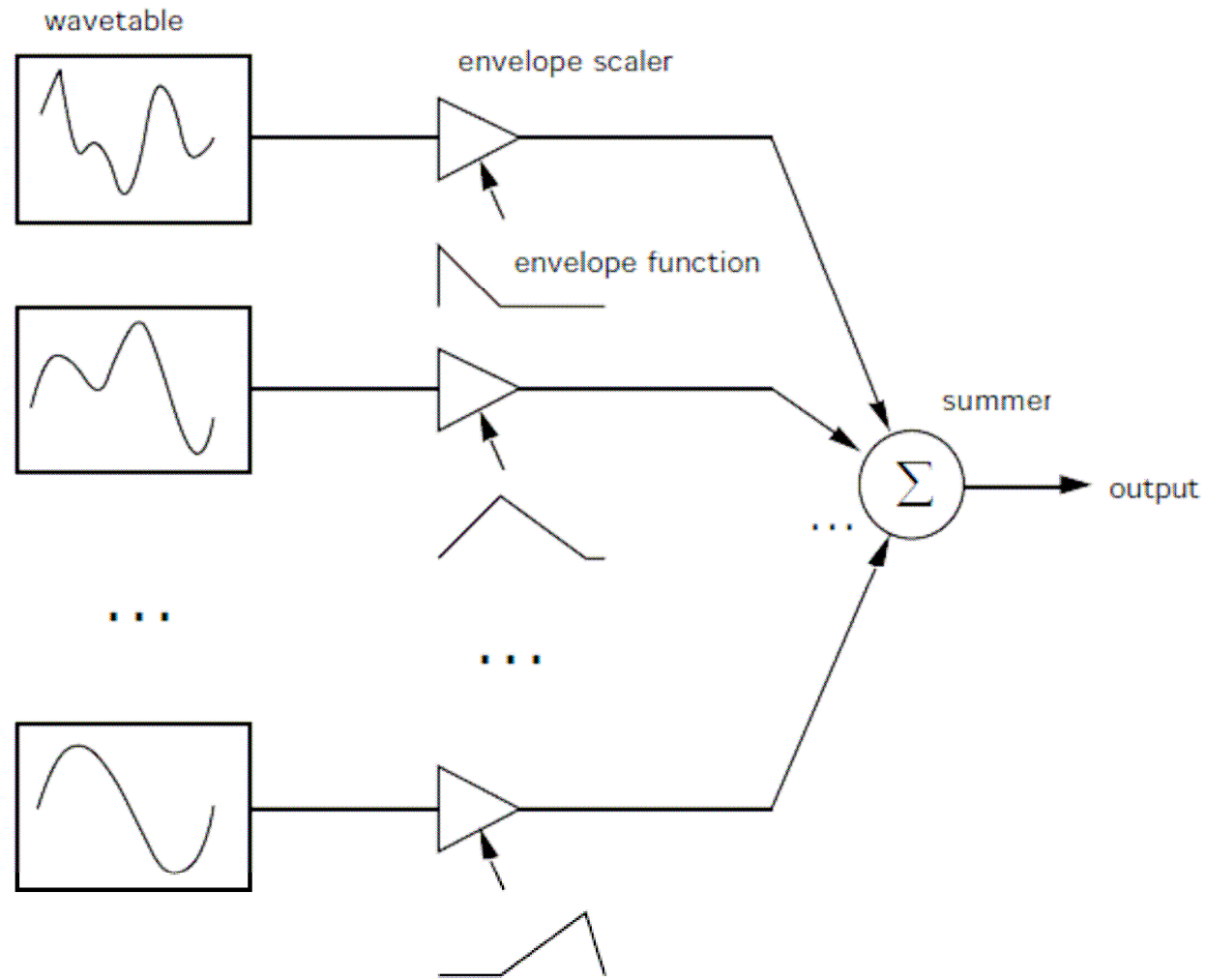
- Przy wysokich częstotliwościach występują duże zniekształcenia związane z interpolacją, większe gdy liczba próbek w tablicy jest mała.
- Nawet jeżeli sygnał zapisany w tablicy ma ograniczone widmo, zwiększenie częstotliwości odczytanego sygnału może znów spowodować aliasing!
 - idealne rozwiązanie: osobna tablica dla każdej wysokości, lub przeliczanie tablicy po zmianie wysokości (duża złożoność)
 - inne rozwiązania to np. interpolacja między dwoma tablicami odległymi o oktawę

Synteza tablicowa (wavetable)

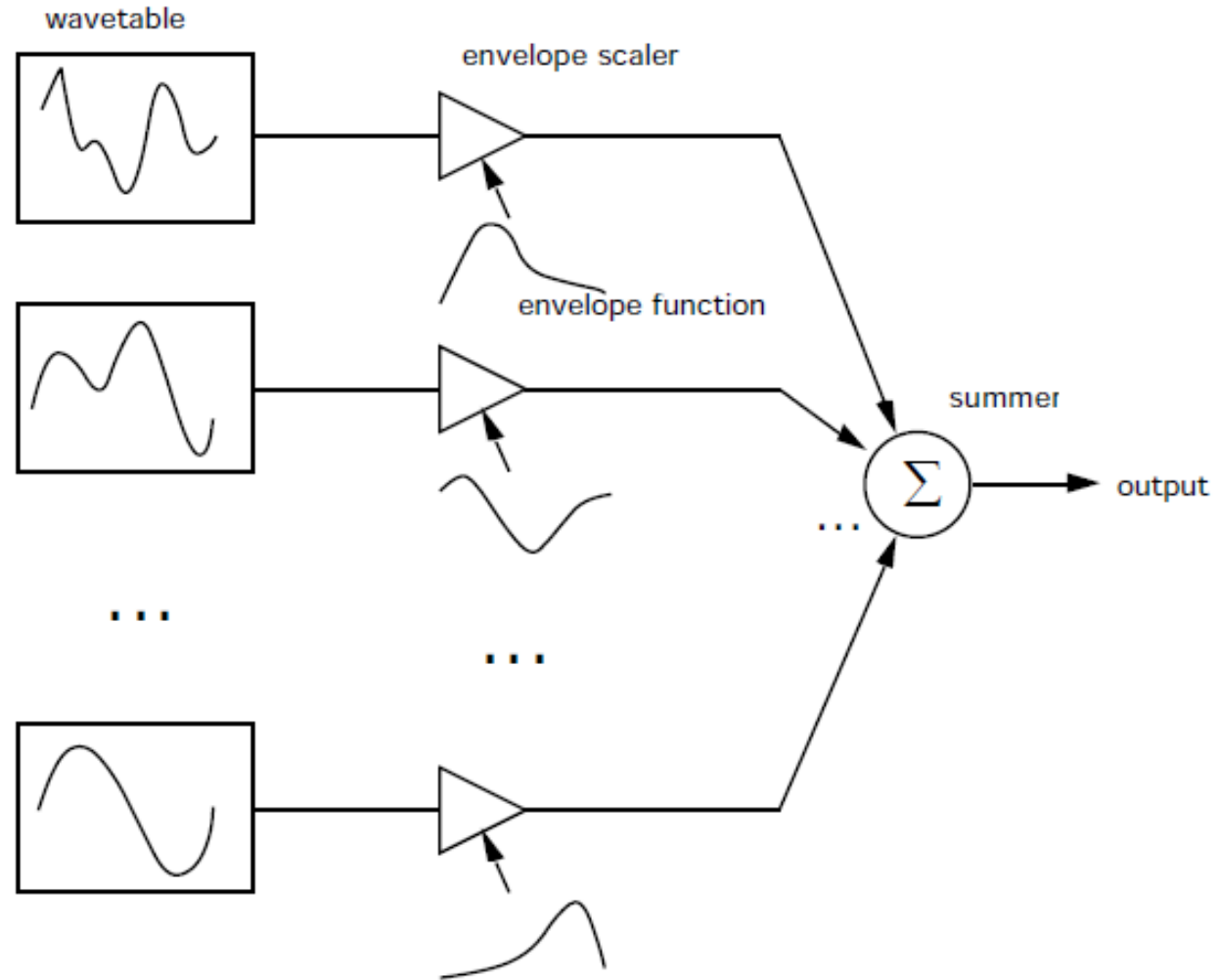
Właściwa synteza tablicowa (*wavetable*):

- odczytywanych jest wiele kształtów fali
- każdy z nich osobno jest zapętłany
- różne kształty fali są mieszane, w proporcjach ustawianych przez generatory obwiedni
- kształty fali są modulowane za pomocą generatorów LFO i obwiedni
- uzyskuje się efekt płynnego przechodzenia między różnymi kształtami fali

Wavetable - sekwencyjne mieszanie fal



Wavetable - dowolne mieszanie fal



Synteza tablicowa (wavetable)

- W metodzie *wavetable* używa się wielu kształtów fali jednocześnie.
- Efekt brzmieniowy uzyskuje się przez płynne zmiany pomiędzy różnymi kształtami fali.
- Zmiany te ustala się za pomocą generatorów obwiedni
- Dalsze przetwarzanie za pomocą filtrów i modulatorów
- Często występują „artefakty” brzmieniowe, np. aliasing, szum kwantyzacji, szum zaokrąglania fazy.

Instrumenty PPG

Instrumenty PPG (Wolfgang Palm) były pierwszym zastosowaniem metody *wavetable* w syntezie dźwięku:

- *Wavecomputer 360* (1980) - pierwsza cyfrowa implementacja *wavetable*.
- *Wave 2* (1981-87) - 30 tablic, 64 fale w każdej tablicy, w sumie 1920 kształtów fali dla każdego z 8 generatorów (głosów), analogowe VCF i VCO.
- *Wave 2.2* i *Wave 2.3* - usprawnienia (więcej fal i głosów, MIDI, cyfrowe przetwarzanie, próbki instrumentów).

Instrumenty PPG



Wave 2.0



Waveterm
komputer sterujący
procesem syntezy

Instrumenty firmy Waldorf

Waldorf - sukcesor firmy PPG, producent cyfrowych instrumentów *wavetable*:

Microwave I (1989), *WAVE* (1993),

Microwave II (1997), *PPG 2.V* (VST plugin)



Synteza tablicowa - wady i zalety

Zalety w stosunku do metody subtraktywnej:

- większa możliwość generowania brzmień (większa różnorodność sygnałów dostępnych w generatorze, możliwość tworzenia sekwencji).
- większa stabilność wysokości dźwięku
- możliwość programowania

Wady:

- ograniczenia pamięci – tylko krótkie sygnały
- konieczność dokonywania przekształceń w celu zmiany wysokości dźwięku

SAMPLERY i SAMPLING

Sampler – urządzenie posiadające następujące możliwości:

- wprowadzanie próbek dźwięku z zewnątrz do pamięci urządzenia
- odtwarzanie zapisanych próbek dźwięku, z możliwością prostego ich przetwarzania

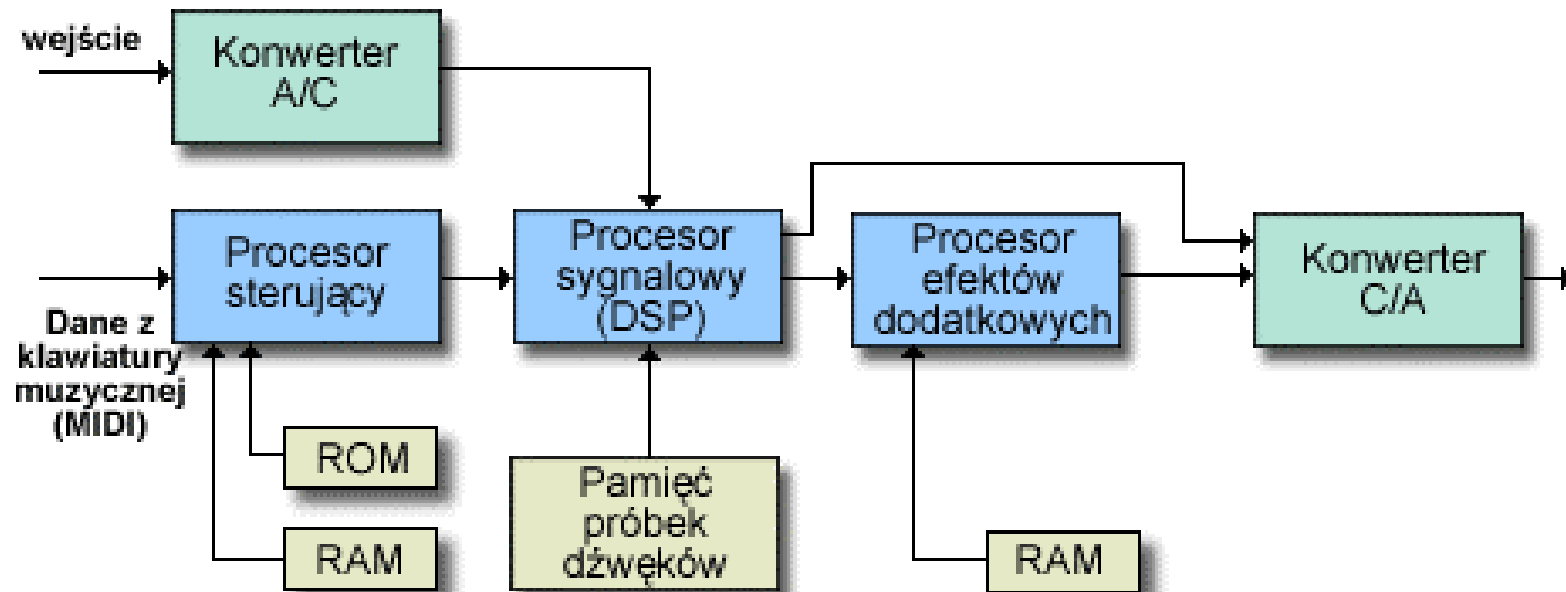
Klasyczne samplery nie posiadają zwykle pamięci stałej z gotowymi próbkami dźwięku.

Sampling – próbkowanie danego brzmienia.

Typy samplerów

- Samodzielne urządzenia – najczęściej moduły montowane w *rackach*, sterowane za pomocą MIDI (brak klawiatury)
- Instrumenty z klawiaturą (samodzielne)
- Samplery współpracujące z komputerem (urządzenia zewnętrzne, karty komputerowe)
- Samplery programowe (*software sampler*) – wykorzystują standardową lub dedykowaną kartę dźwiękową w komputerze

Schemat ogólny samplera



Tryby pracy samplera

Sampler pracuje w trzech trybach:

- **nagrywanie** (*record*)
wprowadzanie próbek do samplera
- **edycja i zapis** (*edit/store*)
ustalenie parametrów próbek, zapętlanie,
zapisanie ich na nośniku
- **odtworzenie** (*replay*)
granie jak na instrumencie:
odczyt próbek z pamięci, transpozycja,
ew. dodatkowe przetwarzanie (efekty)

Próbki dźwięku

Próbka dźwiękowa („sampla”; ang. *sample*):

- dźwięk zapisany cyfrowo („zdigitizowany”)
- zapis najczęściej w formacie PCM (bez kompresji)

Parametry próbki dźwięku:

- częstotliwość próbkowania
- rozdzielczość bitowa (bitów na próbkę)

Należy odróżniać pojęcia „próbka dźwiękowa” i „próbka sygnału” (wartość sygnału cyfrowego).

Próbki dźwiękowe

Próbki dźwięku mogą pochodzić z następujących źródeł:

- nagrywanie przez mikrofon
- wejście liniowe (podłączanie urządzeń)
- karty pamięci (zapis/odczyt)
- płyty CD/DVD, Internet
- pliki na dysku komputera

Zapis próbek dźwięku

Próbki dźwięku mogą być przez sampler zapisywane:

- w pamięci nietrwałej (RAM) – na czas pracy samplera (dostęp swobodny)
- w pamięci trwałej – np. karta pamięci lub dysk twardy – do późniejszego wykorzystania, możliwość tworzenia banków brzmień

Edycja próbek dźwięku

Próbka dźwięku wgrana do samplera poddawana jest obróbce (edycji):

- ustalenie początku i końca próbki („przycinanie”, *trimming*)
- zapętlanie (*looping*)
- ustalenie zakresu transpozycji
- przepróbkowywanie (*resampling*) w celu zmiany wysokości

Zapętlanie

Zapętlanie próbki dźwięku (*looping*) umożliwia powtarzanie wybranego fragmentu próbki.

Stosuje się je głównie w celu wydłużenia dźwięku, rzadziej dla uzyskania ciekawych efektów brzmieniowych.

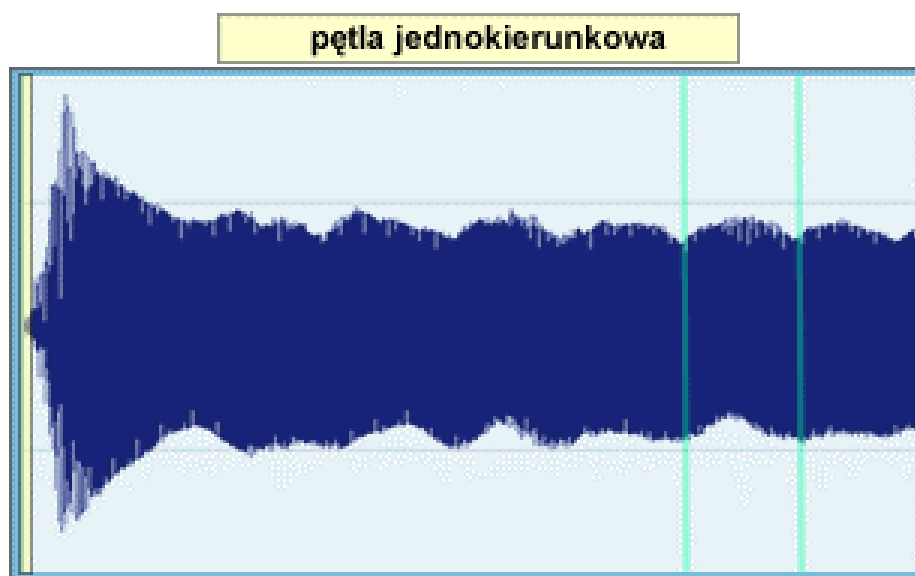
Parametry pętli:

- punkt początkowy i końcowy
lub: punkt początkowy i długość
- rodzaj pętli (kierunek)
- liczba powtórzeń

Pętla jednokierunkowa

W pętli jednokierunkowej następuje przeskok od końca pętli do jej początku.

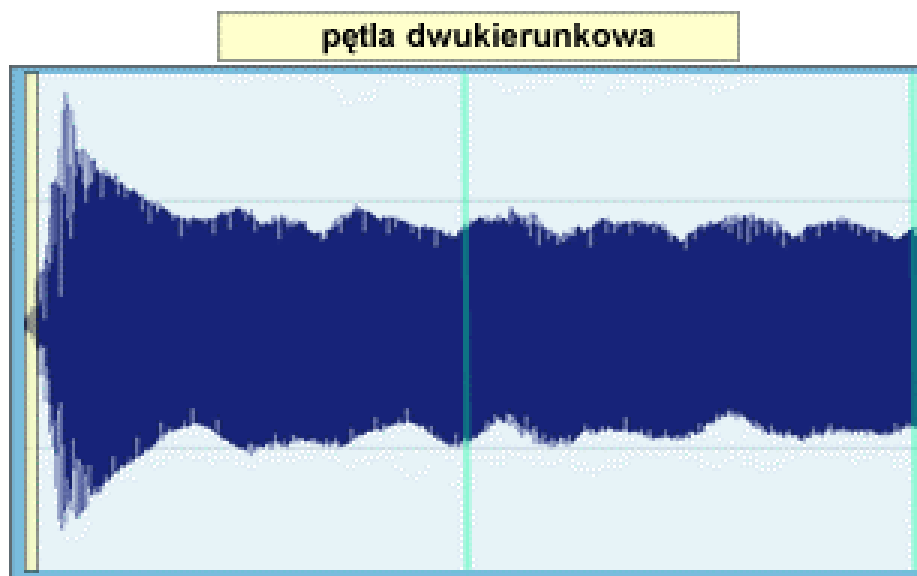
Pętla jednokierunkowa może wprowadzać zniekształcenia brzmienia dźwięku (skoki amplitudy). Dobrze nadaje się do dźwięków okresowych.



Pętla dwukierunkowa

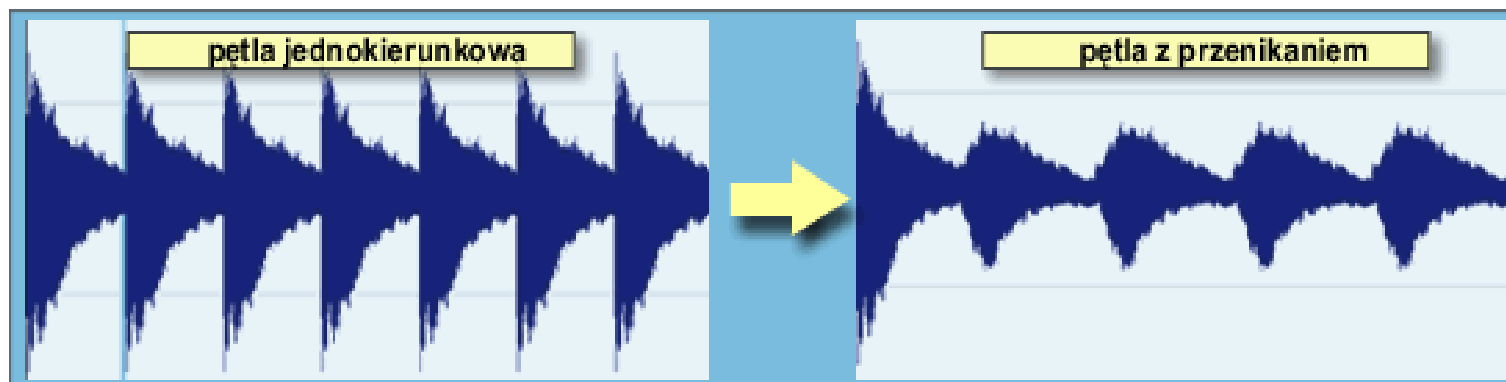
W pętli dwukierunkowej po dojściu do końca pętli, zapętłony fragment jest odtwarzany od tyłu.

Ten typ pętli może powodować, że dźwięk brzmi nienaturalnie. Mogą wystąpić zniekształcenia fazowe. Nadaje się do krótkich fragmentów.



Pętla z przenikaniem

Pętla z przenikaniem (*cross-fade*) jest podobna do pętli jednokierunkowej. Przy przejściu końcowy i początkowy odcinek pętli nakładane są na siebie. Uzyskuje się bardziej płynne przejście dźwięku.



Zniekształcenia pętli

Podczas doboru punktu początkowego i końcowego pętli należy, w przypadku pętli jednokierunkowej, zapewnić na obu końcach pętli:

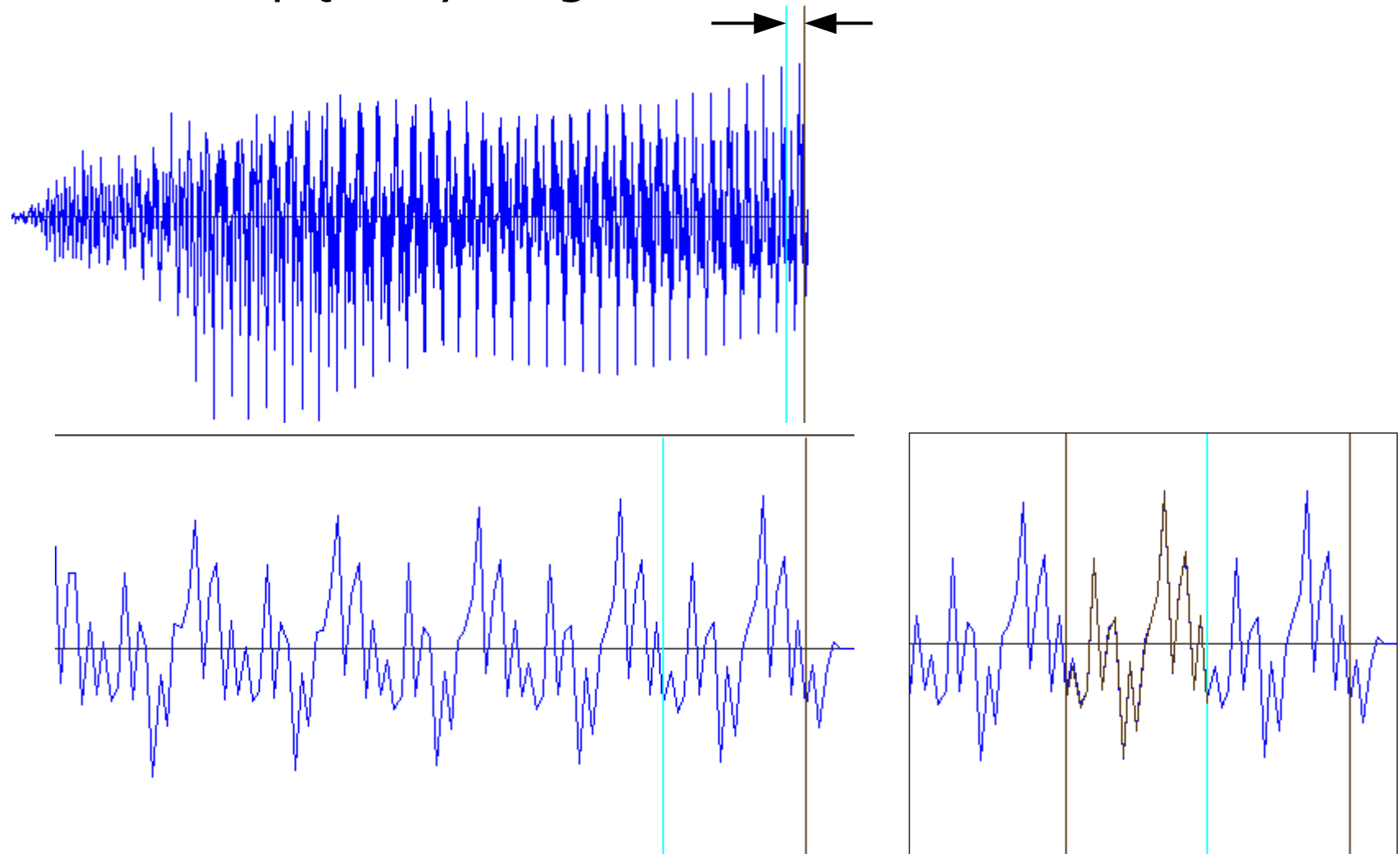
- jednakowy poziom (np. zapętlenie w miejscu przejścia przez zero)
- jednakowe nachylenie obwiedni fali
- jednakową częstość zmian obwiedni fali

W przypadku pętli dwukierunkowej jako punkty zapętlenia dobiera się zwykle lokalne maksima sygnału.

W przypadku pętli jednokierunkowej – „okres” sygnału (powtarzający się fragment).

Przykład zapętlenia

Próbka i zapętlny fragment

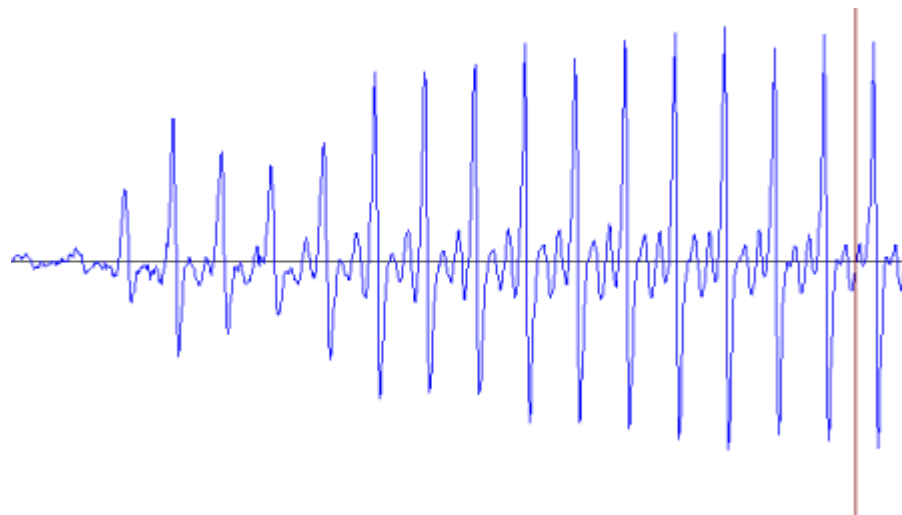


Zapis próbek w samplerze

W praktyce, jeżeli próbka jest zapętлана, zapisuje się w pamięci fragment zawierający:

- transjent początkowy AD (istotny dla brzmienia dźwięku),
- jeden zapętłony „okres” stanu ustalonego.

Fazę wybrzmiewania symuluje się „ściszając” fazę stanu ustalonego za pomocą obwiedni.



Transpozycja próbek

Ograniczenia dostępnej pamięci nie pozwalają zapisać próbek dźwięku o wszystkich wysokościach.

Zapisywana jest jedna próbka dla danego instrumentu, ewentualnie kilka (*multi-sampling*).

Dźwięki o innych wysokościach uzyskiwane są przez **transpozycję** – zmianę wysokości.

W większości samplerów transpozycja odbywa się przez zmianę kroku odczytu próbek z tablicy, jak w metodzie *wavetable*.

Interpolacja

Interpolacja pozwala uzyskać wartości sygnału leżące pomiędzy próbkami.

Metody interpolacji:

- liniowa – punkty łączone są liniami prostymi; mało dokładna metoda, ale często stosowana.
- wielomianowa – dopasowanie krzywej do istniejących punktów; dopasowanie do N punktów wymaga wielomianu rzędu $(N-1)$.

Im wyższy rząd interpolacji, tym lepsze brzmienie transponowanych dźwięków, ale większa złożoność obliczeniowa układu interpolacji.

Zniekształcenia czasowe

Ponieważ nie cały sygnał z tablicy jest zapętłany, dokonując zmiany wysokości dźwięku przez zmianę kroku odczytu z tablicy, wprowadzamy zniekształcenia czasowe:

- transpozycja w górę (podwyższenie)
 - dźwięk ulega skróceniu
- transpozycja w dół (obniżenie)
 - dźwięk się wydłuża

Problem jest bardziej wyraźny gdy nie korzystamy z zapętlenia fragmentu sygnału.

Bardziej złożone metody transpozycji z zachowaniem skali czasu są skomplikowane.

Multi-sampling

Aby możliwe było odgrywanie próbki przy użyciu całego zakresu klawiatury, można zastosować następujące metody:

- transpozycja pojedynczej próbki na cały zakres klawiatury – zniekształcenia (np. czasowe);
- *multi-sampling* – nagrywa się więcej niż jedną próbkę danego brzmienia, o różnych wysokościach, i przypisuje do różnych zakresów klawiatury (*split* – podział klawiatury na różne próbki)

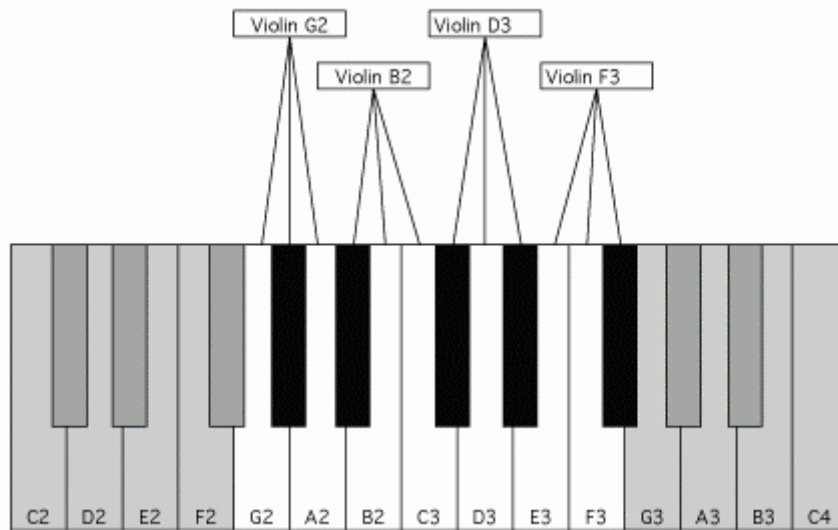
Multi-sampling

Możliwe rozwiązania:

- pełny *multi-sampling* – nagrywa się osobną próbkę dla każdego klawisza – metoda czasochłonna, trudna do wykonania (problem z zestrojeniem), duża zajętość pamięci
- metoda mieszana – nagrywanie kilku próbek o różnych wysokościach, np. w odstępie oktawy, dla pozostałych klawiszy – transpozycja

Multi-sampling

Przykład multisamplingu:



key note – klawisz bazowy, nie ma transpozycji
zakres transpozycji - do którego klawisza ma być dokonywana transpozycja

Multi-sampling

- Dobór liczby próbek dla zakresu klawiatury powinien uwzględniać właściwości próbkowanego dźwięku.
- Należy określić zakres, w którym transpozycja nie wprowadza zniekształceń.
- Więcej próbek stosuje się w środkowym zakresie skali (częściej wykorzystywanym), mniej na krańcach skali.
- Należy zwrócić uwagę na zakres dźwięków wytwarzanych przez nagrywany instrument.

Uwarstwianie (multi-layering)

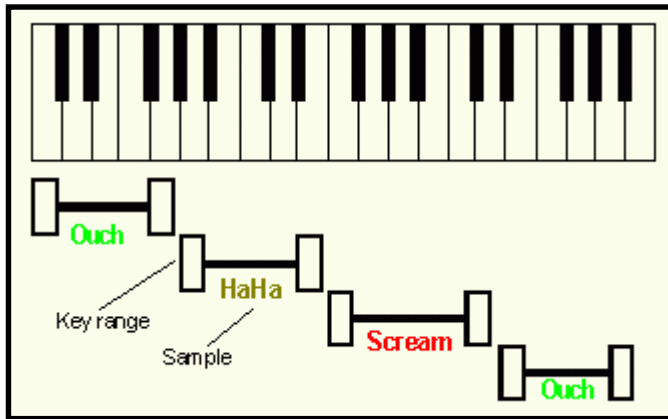
Uwarstwianie (*multi-layering*) umożliwia zastosowanie pokrywających się zakresów klawiatury dla różnych próbek dźwięku.

Dzięki temu przy naciśnięciu klawisza odgrywana może być więcej niż jedna próbka dźwięku.

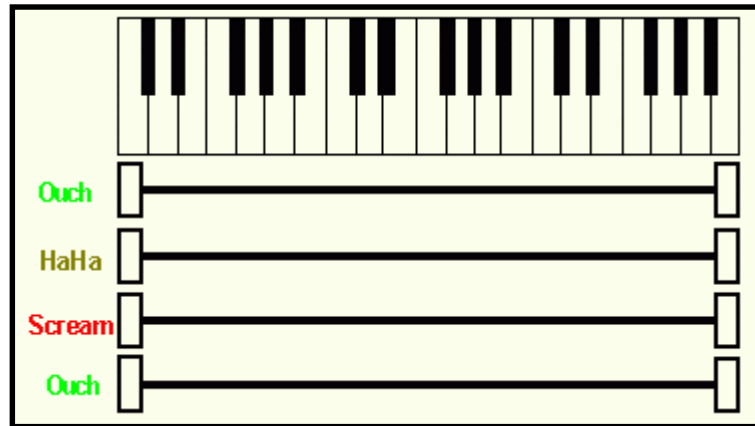
Uwarstwianie pozwala na tworzenie bardziej złożonych brzmień na podstawie prostych próbek dźwiękowych, np. grę kilku instrumentów naraz.

Multi-sampling i multi-layering

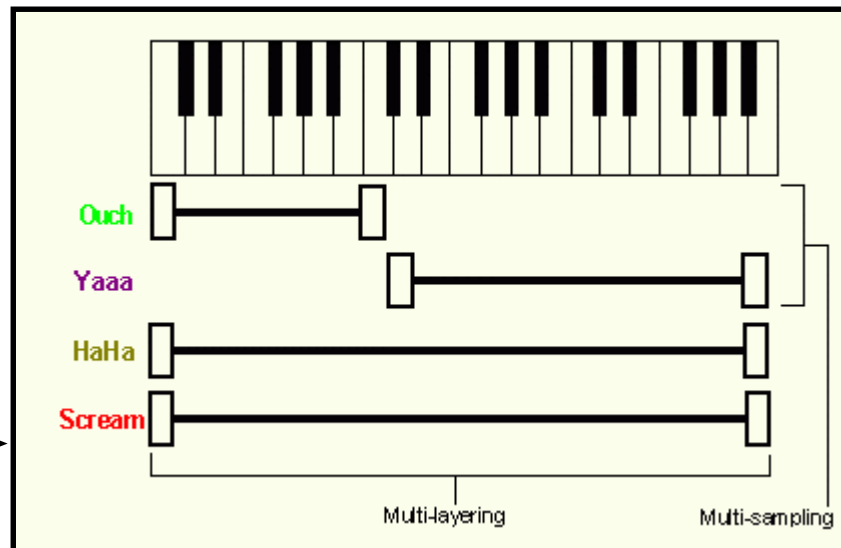
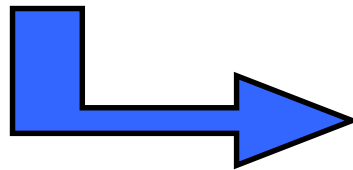
multi-sampling



multi-layering



multi-sampling
+
multi-layering



Struktura dźwięków samplera

- **próbka (*sample*)**
pojedynczy nagrany dźwięk, przypisywany do jednego lub kilku klawiszy
- **mapa (*keymap*)**
zestaw próbek pokrywających zakres klawiszy
- **instrument (*instrument*)**
jedna lub więcej map, pozwalających odgrywać wybrane brzmienie
- **zestaw (*preset*)**
jeden lub więcej instrumentów
- **bank (*bank*)**
zbiór zestawów wczytywany do samplera

SoundFont

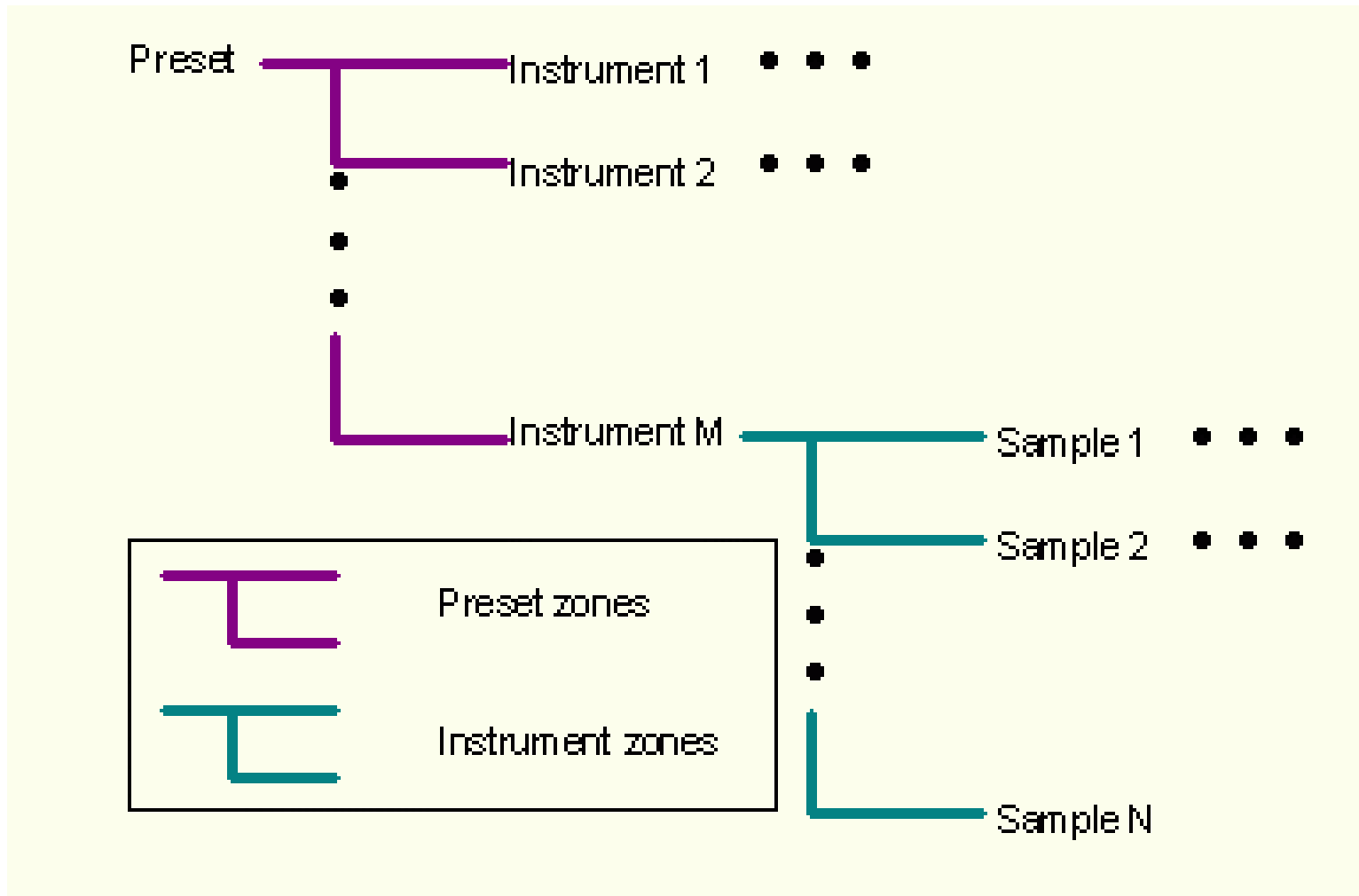
Standard *SoundFont* (SF2) określa sposób organizacji próbek w samplerze

Bank próbek – całość wczytywana do samplera.

Struktura banku:

- warstwa zestawu (*preset level*) – muzyk wybiera jeden z zestawów do grania w danej chwili
- warstwa instrumentu (*instrument level*)
- warstwa próbek (*sample level*)

Struktura banku SoundFont



Zestawy instrumentów

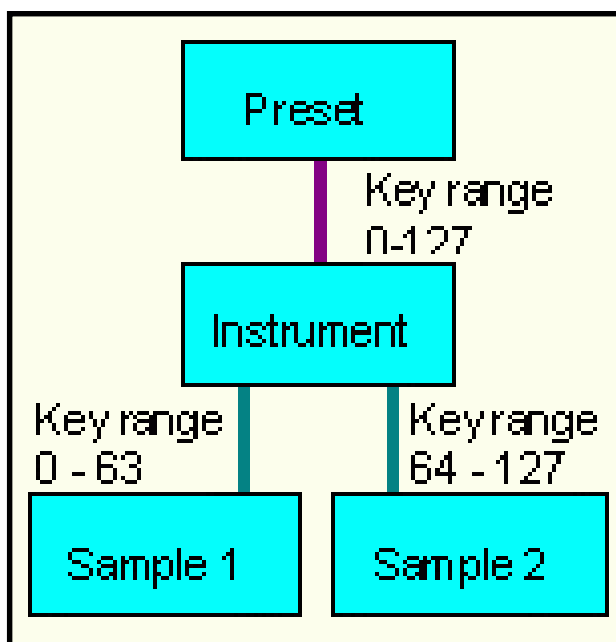
Zestawy stanowią grupę instrumentów.

Typy zestawów:

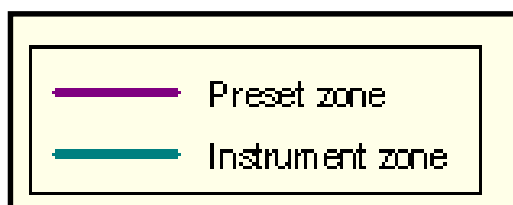
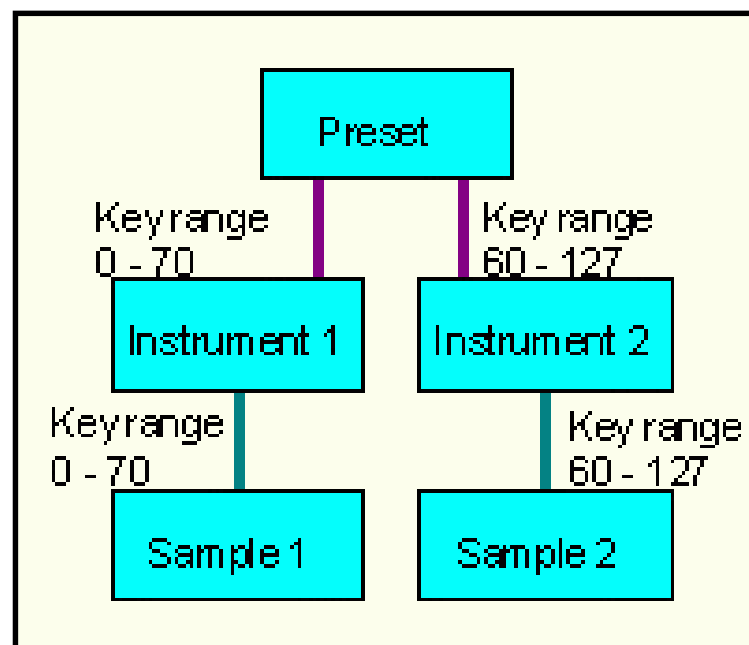
- **melodyczne** (*melodic*) – dla próbek dźwięków o ustalonej wysokości, jeden instrument obejmuje pewien zakres klawiszy
- **perkusyjne** (*percussive*) – dla próbek dźwięków perkusyjnych o nieokreślonej wysokości, do każdego z klawiszy przypisana jest jedna próbka dźwięku innego instrumentu

Zestawy melodyczne

Podział zakresu klawiatury:
na próbki



na instrumenty



Przetwarzanie sygnału w samplerze

W prostszych samplerach przetwarzanie dźwięku ogranicza się do dodania efektów brzmieniowych (pogłos, chorus, itp.).

Nowoczesne samplery programowe oferują zwykle więcej możliwości przetwarzania dźwięku.

Dźwięk wytworzony przez sampler może być poddany dalszemu przetwarzaniu, np. za pomocą filtrów i układów modulujących (LFO).

Przetwarzanie sygnału w samplerze

Próbki samplera brzmią zawsze tak samo – nie ma artykulacji.

Próba zróżnicowania brzmienia – wykorzystanie informacji *velocity* o sile naciskania klawisza:

- sterowanie głośnością (mocniej – głośniej)
- filtracja – sterowanie częstotliwością graniczną (np. mocniej – więcej składowych)
- bardziej zaawansowane – modulacja obwiedni sterującej głośnością lub filtracją

Są to jednak „półśrodki”.

Samplery - zalety

Zalety:

- możliwość uzyskania dowolnych brzmień, np. realistycznie brzmiących instrumentów
- możliwość wprowadzania własnych próbek
- nowatorskie możliwości brzmieniowe (lata 90.)
- mała złożoność obliczeniowa
- prostota obsługi w przypadku programowych samplerów

Samplery - wady

Wady:

- wymagane pamięci o dużej pojemności
- małe możliwości kształtowania brzmienia już nagranych próbek dźwięku
- prostota obsługi powoduje często ograniczenie „kreatywności” użytkowników (korzystanie z gotowych „szablonów”)
- tak naprawdę, nie ma tu syntezy dźwięku, jest to tylko „cyfrowy magnetofon”

Historia samplerów (1)

- Za pierwsze „samplery” można uznać urządzenia umożliwiające zapis i odtwarzanie dźwięku przy użyciu zapętłonej taśmy magnetofonowej.
- 1976: *Computer Music Mediolan* - pierwszy sampler cyfrowy, monofoniczny
- 1979: *Fairlight CMI* - polifoniczny, duże możliwości, wysoki koszt (25 000\$)
- *Synclavier* - rywal Fairlighta, dodano sampling
- 1981: *E-mu Emulator* - prosty sampler 8-bitowy, niższy koszt (9995\$)

Historia samplerów (2)

Fairlight CMI (1979)



E-mu Emulator II
(1984)



Historia sampleroów (3)

- 1986: *Akai S900*
pierwszy sampler dostępny dla szerszego grona użytkowników; 12 bitów, RAM 750 kB
- 1988: *Akai S1000*
najpopularniejszy sampler w tamtym czasie, duże możliwości przetwarzania, 16 bit 44100 Hz stereo, RAM 32 MB, przetwarzanie 24 bit



Samplery programowe

Samplery programowe (*software samplers*)
– programy komputerowe; prostsza obsługa,
duże możliwości przetwarzania, możliwość
obróbki próbek przy pomocy edytorów dźwięku.

Wybrane współczesne samplery programowe:

- *GigaStudio* (Tascam)
- *Kontakt* (Native Instruments)
- *FL Studio* (Fruity Loops)
- *VSampler* (Speedsoft)

Kontakt - sampler programowy

The screenshot displays the Kontakt software interface in Instrument Edit Mode. The top bar includes the Kontakt logo, a menu bar (Browser, Load/Save, Options, Purge, View), and system information (144 Outputs, Keyboard, MasterControl, CPU usage, Disk usage, and NI logo).

The left sidebar contains a list of modules: SURROUND PAN, SATURATION, LO-FI, STEREO MODELLE, DISTORTION, and PHASER. The SURROUND PAN module is selected, and its description is visible in the bottom-left panel:

SURROUND PANNER
The Surround Panner pans your existing audio signal in a surround field. The input can vary from mono to multichannel (16 channels max.) and the output can be chosen in the Format menu (from 2.1 Stereo to 16-channel-Surround). Special effects like Delays on each loudspeaker, Air absorption and Doppler effect can give the signal a realistic natural touch and enhance the spatial impression.

The main editor area is titled "SURROUND SYNTH" and shows the following settings:

- Source:** sampler, Tune: 0.00, Release Trigger, Tracking, Reverse.
- Group Insert Fx:** Inv, Sat, Lo-Fi, Sr Pan, Dist, pro SR, Inu, Comor.
- Amplifier:** Volume: -6.0, Pan: [c], channel routing, Output.
- Insert Effects:** IR, Phaser, Flanger, Chorus, Reverb, Delay, Add Fx.
- Convolution:** Pre Dig: 2.3, Bypass, Preset, IR: Sample PATH, Bits: 24, S. Rate: 48 kHz, Ch: 6, ER, TAIL, IR Size: 82.2, HighPass: 20.0.

The bottom status bar shows: "misc tot.: 7.39, misc used: 6.96 sample tot.: 1.00, sample used: 0.00 voice tot.: 1.00, voice used: 0.00" and a memory dropdown menu.

Metoda samplingowa w kartach dźwiękowych

Popularne karty dźwiękowe do komputerów PC z serii *SoundBlaster (AWE 32/64, Live!, Audigy)* firmy *Creative Labs* zawierają syntezytor określany przez producenta jako *wavetable*.

Jest to układ syntezy samplingowej, z możliwością pracy jako sampler.

Możliwości:

- polifonia – głosy sprzętowe (32) i programowe
- zestaw próbek wykorzystuje standard General MIDI

Syntezytory na kartach dźwiękowych są obecnie bardzo rzadko używane.

SoundBlaster jako syntezytor sampl.

Możliwości wykorzystania kart *SoundBlaster* jako syntezytora samplowego:

- synteza sprzętowa – przy użyciu próbek instrumentów muzycznych
 - zapisanych w pamięci ROM karty (stałych),
 - własnych próbek (*SoundFont*)
- synteza programowa *DirectX (DirectMusic)* – przy użyciu procesora komputera i gotowego zestawu próbek zapisanego w pliku
- wykorzystanie samplera programowego
 - karta dźwiękowa jest używana tylko do odtwarzania dźwięku

Możliwości układu syntezy w SoundBlasterach

Dostępne są następujące mechanizmy:

- transpozycja próbki we wskazanym zakresie
- zapętlanie dźwięku (jednokierunkowo)
- multi-sampling/multi-layering
- ustawianie obwiedni DAHDSR
- filtracja próbek
- modulacja (LFO, EG)
- dodawanie efektów *reverb* i *chorus*

Obsługa za pomocą programu *Creative Vienna Studio*.

SYNTEZA SAMPLINGOWA

Na rynku pojawiły się również instrumenty, które odgrywały próbki zapisane w pamięci stałej, bez możliwości wprowadzania własnych próbek.

Stosuje się tu różne nazwy:

- synteza samplingowa (*sample-base synthesis*)
- synteza PCM (*PCM synthesis*)
- czasem nieprawidłowo nazywa się to metodą tablicową (*wavetable*)
- instrument taki czasem nazywa się *ROMpler*

Możliwości syntezy samplingowej

- Możliwości syntezy samplingowej w zakresie generowania dźwięków ograniczają się do wyboru próbki z zapisanego zestawu dźwięków, np. instrumentów muzycznych.
- Układy przetwarzania dźwięku są bardzo ograniczone.
- Zatem możliwości układów syntezy samplingowej to w praktyce jedynie odczytywanie sygnałów z pamięci, zmiana ich wysokości (transpozycja) i wysyłanie na wyjście.
- Trudno mówić tutaj o „syntezie dźwięku”.

Przykłady ROMplerów

Roland U-20 / U-220 (1989)



Wiele tanich instrumentów na rynku (*electronic keyboards*) to właśnie instrumenty samplingowe.

Sampler a syntezytor samplingowy

Syntezytor samplingowy:

- nie ma możliwości dodawania ani edycji próbek (tylko pamięć stała ROM)
- przetwarzanie próbek przez układ modyfikacji (filtry, modulatory)

Sampler:

- rozbudowane możliwości wprowadzania i edycji własnych próbek dźwięku (pamięć RAM, nośniki danych)
- układ modyfikacji ograniczony – nie jest potrzebny (możliwość jego symulowania przez odpowiedni dobór próbek)

Metoda tablicowa a samplingowa

Klasyczna metoda tablicowa w porównaniu z metodą samplingową:

- w tablicy zapisane są okresy prostych sygnałów (ograniczenia pamięci)
- sygnał wyjściowy jest generowany w czasie rzeczywistym, a nie po prostu odtwarzany z pamięci

Firma *Creative Labs*, producent kart *SoundBlaster*, określała zastosowaną metodę syntezy jako *wavetable*, w rzeczywistości była to typowa synteza samplingowa.

Współczesne instrumenty klawiszowe

Dostępne na rynku instrumenty w większości opierają się na syntezie samplingowej, wzbogacają ją jednak o

- zaawansowane możliwości przetwarzania (np. modulacja)
- dodanie funkcji samplera
- dodatkowe opcje syntezy (np. emulacja metody analogowej, metoda tablicowa)

Współczesne instrumenty klawiszowe

Yamaha EX-5 (1999) – „*Extended synthesis*”



Roland JUNO-STAGE (2008)



Trackery

Trackery (*trackers*) są programowymi sekwencerami umożliwiającymi odgrywanie zapisanych w pliku krótkich próbek dźwiękowych oraz dodawanie efektów.

Nadają się do tworzenia prostej muzyki z powtarzającymi się sekwencjami dźwięków.

Pierwszy tracker powstał dla komputera *Commodore Amiga* (1987).

Tracker łączy w sobie funkcje:

- *sampler* (próbki dźwiękowe),
- *sekwencera* (sterowanie odtwarzaniem próbek)

Trackery

- **próbki (*samples*)** - najczęściej bardzo krótkie dźwięki, typowo 16 lub 32 próbek, mogą być zapętlane
- **instrumenty (*instruments*)** - zbiory próbek, np. dla różnych zakresów klawiatury
- **ścieżki (*tracks*)** lub **kanały (*channels*)** - każda ścieżka jest odgrywana niezależnie, umożliwia polifonię, typowo 4-8 ścieżek
- **wzory (*patterns*)** - informacje o sposobie odtwarzania próbek w każdym kanale
- **sekwencje (*sequences*)** - kolejność odtwarzania wzorców

Wzorce

Z próbek dźwiękowych układane są **wzorce** (*patterns*) – sekwencje próbek.

Maksymalnie można wykorzystać 128 wzorców.

- Wzorzec składa się z 64 **linii** (*lines*)
- Każda linia zawiera po jednej **nucie** (*note*) dla każdego głosu (kanału)
- Każda nuta zawiera informację o:
 - wybranym instrumencie lub próbce,
 - wysokości dźwięku,
 - głośności dźwięku,
 - użytych efektach i ich parametrach.

Możliwości trackerów

- Transpozycja – metodą zmiany częstotliwości odczytywania próbki (*frequency shifting*)
- Zapętlanie próbek
- Dostrojenie wysokości (*fine-tuning*)
- Filtracja, modulacja, sterowanie amplitudą
- Efekty brzmieniowe (przykład):
Arpeggio, Slide Up, Slide Down, Tone Portamento, Vibrato, Tone Portamento + Volume Slide, Vibrato + Volume Slide, Tremolo, Set Panning Position, Set SampleOffset, VolumeSlide, Position Jump, Set Volume, Pattern Break, Extended Effects, Set Speed

Przykłady trackerów

Najbardziej znane trackery (i formaty plików):

- *Soundtracker, Protracker, Noisetraacker* (MOD)
- oryginalny format Amigi
- *Composer 669* (669) - pierwszy tracker na PC
- *ScreamTracker* (S3M)
- *FastTracker* (XM)
- *ImpulseTracker* (IT)
- *MadTracker* - Windows
- *Renoise*
- *ModPlug Tracker / OpenMPT*

Fasttracker

The screenshot displays the FastTracker 2.0 interface, a classic music software application. The top section features a control panel with various settings:

- File/Track Info:** Songlen. 1E, Repstart 02, Avail 14106(14107)k, GUS 0000k, Time 00:00:15.
- Performance Settings:** BPM 150, Spd. 06, Add. 01, Ptn. 14, Ln. 040, Expd., and Srnk.
- Navigation:** Up, Down, and Del. buttons.

The middle section contains a piano roll with 16 tracks (0-15) and a score editor below it. The score editor shows a grid of notes and rests across 35 rows and 16 columns. A mouse cursor is positioned over a note in row 2C, column 4.

The right side of the interface includes a menu bar with options: About, Nibbles, Zap, CD-Dump, Extend, Transps., I.E.Ext., S.E.Ext., Adv. Edit, Add, Sub, Play sng., Play ptn., Stop, Rec. sng., Rec. ptn., Disk op., Instr. Ed., Smp. Ed., Config, and Help. Below the menu is a track list for track 01, titled "Control - Alternate - Terminate" by Teque, dated November 2001, composed for Sol's AltParty3 Invitation. The track list shows a sequence of notes (01-08) and a swap bank section (00-04).

At the bottom, there are navigation arrows and a yellow bar.

Trackery z syntezą dźwięku

Obecnie, poza klasycznymi trackerami, spotyka się również wirtualne instrumenty, w których:

- sposób sterowania jest taki jak w trackerach (sekwencje, wzorce, itp.),
- zamiast odgrywania próbek dźwięku stosuje się blokowy algorytm syntezy, który generuje dźwięki w czasie rzeczywistym,
- można również grać na takim instrumencie za pomocą klawiatury MIDI.

Najbardziej znane programy tego typu:

- *Buzz*
- *Psycle*

Psycle - algorytm syntezy

The screenshot displays the Psycle Modular Music Creation Studio interface. The main window shows a signal flow graph with various modules connected to a central 'MASTER' module. The modules include:

- 00:Keverb Sampler
- 03:Reverb Sampler 2
- 41:CrossDelay
- 01:Delay Sampler
- 40:Reverb
- 42:CrossDelay
- 43:CrossDelay
- 44:CrossDelay
- 05:Dry Sampler
- 02:Pooplog
- 04:Drum2.2

The 'MASTER' module is labeled 'psycle'. The interface also features a menu bar (File, Edit, View, Configuration, Performance, Help), a toolbar, and a track control area (Tracks: 20, Tempo: 125, Lines per beat: 4, Octave: 3, YU). The track control area shows 'Pattern Step 1', '02: Pooplog', 'Gear Rack', 'Params', and '00: OSC Select'. The track control area also includes buttons for 'Load', 'Save', 'Edit', and 'Wave Ed'.

Several parameter windows are open, showing the settings for various modules:

- 40: Reverb**
 - Pre Delay: 21.1 ms
 - Comb Spread: 512
 - Room size: 32.8 m/s
 - Feedback: 63.0%
 - Absortion: 2009 Hz
 - Dry: Dry
 - Wet: 82.0%
 - Filters: 40.6%
 - 12
- 43: CrossDelay**
 - Delay time: 3.000
 - Feedback: 50.0%
 - Dry: 0.0 dB
 - Wet: +6.0 dB
 - Tick mode: On
 - Ticks: 3
- 02: Pooplog**
 - OSC Select
 - OSC 1
 - OSC Volume A
 - OSC Volume B
 - Use OSC Vol. A
 - OSC Wave A
 - Sine +
 - OSC Wave B
 - Sine -
 - OSC Width A:B
 - 50.00% + 50.00%
 - OSC Mix Method
 - None
 - OSC Sync
 - Off
 - OSC Tune
 - 0 semi
 - OSC Finetune
 - 0.0000 semi
 - OSC W Env Type
 - LFO+Env
 - OSC Phase Mix
 - Off
 - OSC Phase
 - 56.3818 degrees
 - OSC PH Env Type
 - LFO+Env
 - OSC PH Env Mod
 - Off
 - OSC PH Delay
 - Off
 - OSC PH Attack
 - 32.000 ms
 - OSC PH Decay
 - Off
 - OSC PH Sustain
 - 100.0000%
 - OSC PH Release
 - 1686.3688 ms
 - OSC PH LFO Depth
 - Off
 - OSC PH LFO Wave
 - Sine
 - OSC PH LFO Rate
 - Sync 64 beats
 - OSC W Env Mod
- 04: Drum2.2**
 - Start Freq: 205Hz
 - End Freq: 44Hz
 - Freq Decay: 65ms
 - Start Amp (1): 32767
 - End Amp (1): 21844
 - Length: 180ms
 - Volume: 32767
 - Dec Mode: Linear
 - Compatible(1/2) Version 1.x(1)
 - NNA Command: NoteOff
 - Attack up to (2): 2%
 - Decay up to (2): 63%
 - Sustain Volume (2): 51%
 - Drum/Thump Mix: 100%:0%
 - Thump Length: 1/ms
 - Thump Freq: 500Hz

The bottom status bar shows 'Pooplog (209,325)' and 'Pos 08 | Pat 08 |'.

Psycle - sekwencer

The screenshot displays the Psycle Modular Music Creation Studio interface. The title bar reads "[rhino]Out_Of_Bristol.psy *] Psycle Modular Music Creation Studio (psycedelics 1.0.2 Release with bugfixes)". The menu bar includes File, Edit, View, Configuration, Performance, and Help. The toolbar contains various icons for file operations and playback. The main interface features a pattern step selector (1), a track selector (02: Pooplog), and a gear rack. The sequencer grid shows 20 tracks and 18 steps. The current track (02) is highlighted in red. The grid contains musical notes with pitch and duration information, such as C-4 0000, G-3 0000, and F-4 0000. The status bar at the bottom indicates "Out Of Bristol - Untitled" and "Pos 08 Pat 08 Line 16 00:00:01.92 Oct 3 Edk Follow".

Line	00	01	02	03	04	05	06	07
0		C-4 0000	G-3 0000	C-4 0601	G-3 0900	C-4 0200		
1			A-3 0000	C-4 0401				C-4 0F00
2		D-4 0000			G-4 0900			
3			A-3 0000	C-4 0601				
4		D-4 0000		C-4 0501	G-3 0900			
5					G-4 0900			
6				C-4 0301			C-4 0800	
7				C-4 0701				
8				C-4 0601				
9				C-4 0601				
10		C-4 0000	G-3 0000					
11				C-4 0501				
12				C-4 0401				
13				C-4 0301				
14		D-4 0000	A-4 0000					
15				C-4 0501				
16		F-4 0000	C-5 0000	A-4 0000	C-4 0601			
17				C-4 0401				
18					C-4 0601			
19				C-4 0501				
20								
21								
22	E-4 0000	G-4 0000	B-4 0000	C-4 0301				
23				C-4 0701				
24				C-4 0601				
25				C-4 0601				
26								
27				C-4 0501				
28	G-4 0000	B-4 0000	E-5 0000	C-4 0401				
29				C-4 0301				
30								
31				C-4 0501				
32		C-4 0000	G-3 0000	C-4 0601		C-4 0200		C-4 0101
33				C-4 0401				
34		D-4 0000	A-3 0000					
35				C-4 0601				
36		D-4 0000	A-3 0000	C-4 0501				
37								
38				C-4 0301				
39				C-4 0701				
40				C-4 0601				
41				C-4 0601				
42		C-4 0000	G-3 0000					
43				C-4 0501				
44				C-4 0401				
45				C-4 0301				

Literatura

- Martin Russ: *Sound Synthesis and Sampling*. Focal Press, Oxford 1996.
- Robert Bristow-Johnson: *Wavetable Synthesis. A Fundamental Perspective*. 101st AES Conv,, 1996.
- S. de Furia, J. Scacciaferro: *The Sampling Book*. Third Earth Publishing Inc., Pompton Lakes 1987.
- Wikipedia (wersja angielska)
- Creative Vienna – plik pomocy do programu
- Program *Viena*: www.synthfont.com
- Program *Psycle*: psycle.pastnotecut.org
- Program *OpenMPT*: openmpt.org