MIR

Systemy rozpoznawania muzyki

Wprowadzenie

Klasyczne bazy danych:

- przechowują dane w formie tekstowej
- wyszukiwanie danych wyłącznie w oparciu o kryteria tekstowe

Np. wpisujemy tytuł piosenki.

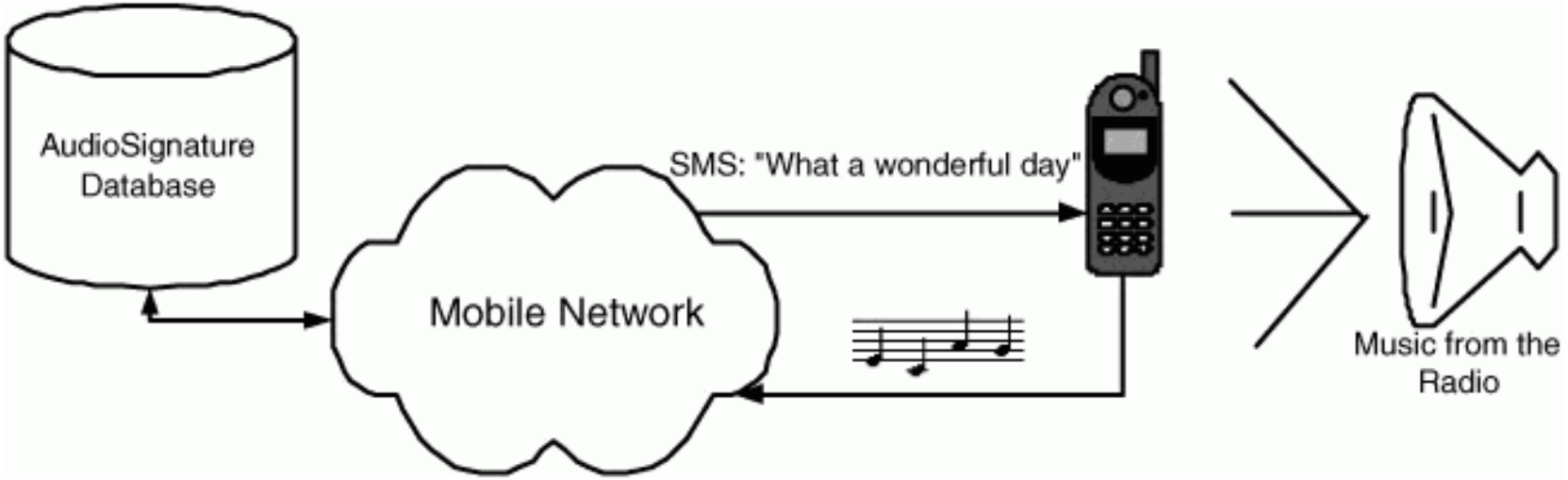
Baza wyszukuje nazwy wykonawców i tytuły albumów zawierających taki tytuł.

Dodatkowe możliwości – odsłuchanie fragmentu, zakup albumu, itp.

Multimedialne bazy danych

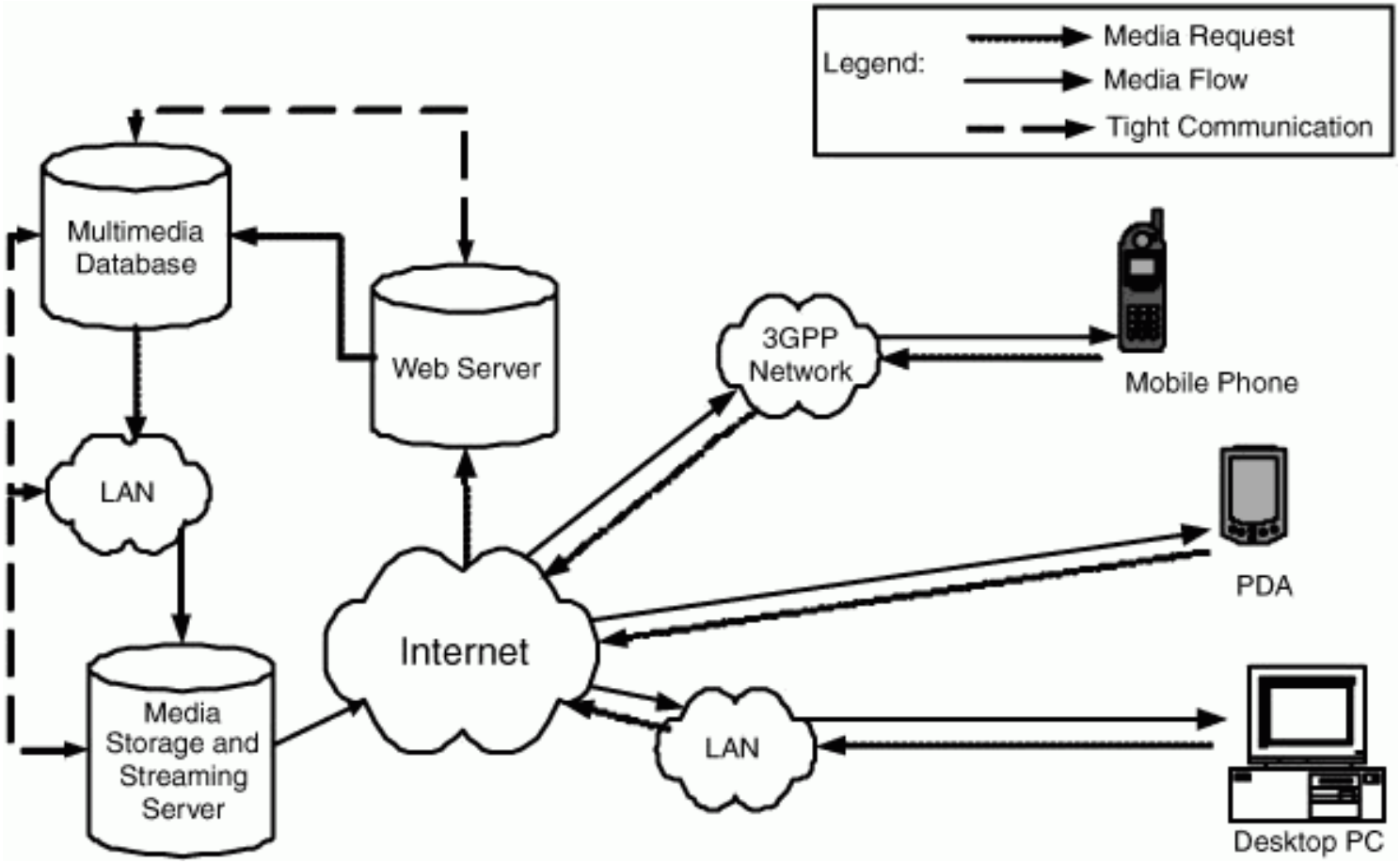
MBD (ang. *Multimedia Database*):

- przechowują dane o zawartości multimedialnej (np. o nagraniach muzycznych)
- umożliwiają wyszukiwanie wg. kryteriów nietekstowych (np. fragment nagrania)



Systemy rozproszonych MBD

Klient łączy się z serwerem systemu za pośrednictwem sieci Internet, komórkowej, itp.



Parametryzacja

Podejście intuicyjne do wyszukiwania multimedialnego: system porównuje nagranie (np. plik WAV) z nagraniami w bazie.

Wady:

- olbrzymi rozmiar bazy danych
- problematyczne wyszukiwanie danych (porównywanie binarne plików?)
- problem praw autorskich
- ogólnie mała wydajność

Takie podejście nie jest właściwe.

Parametryzacja

Rozwiązanie – zastosowanie parametryzacji:

- analiza nagrania – wydobywane są informacje (parametry) jednoznacznie identyfikujące dane nagranie
- w bazie danych przechowywane są tylko parametry (nie same nagrania)
- szukane nagranie musi również zostać sparametryzowane
- wyszukiwanie – znalezienie zestawu parametrów w bazie najlepiej pasującego do zapytania

Metadane

W bazie MBD przechowywane są tylko metadane („dane o danych”):

- informacje tekstowe (tytuł, wykonawca, album, rok, gatunek, itp.)
- zbiór parametrów opisujący nagranie
- dodatkowe informacje (np. prawa autorskie)
- odnośnik do nagrania (umożliwia odsłuchanie)

Same nagrania dźwiękowe są przechowywane na osobnym serwerze, poza bazą danych.

Systemy wyszukiwania muzyki

MIR – ang. *Music Information Retrieval*

Systemy umożliwiające wyszukiwanie muzyki wg kryteriów multimedialnych.

Tworzenie bazy danych: parametryzacja zbioru nagrań.

Wyszukiwanie:

- parametryzacja zapytania
- porównywanie parametrów zapytania z parametrami zawartymi w bazie
- zwrócenie wyszukanych obiektów wg kryterium podobieństwa parametrów

Kryteria wyszukiwania

Najczęściej stosowane typy „multimedialnego zapytania” (*multimedia query*):

- podanie zapisu nutowego
- zanucenie/zagwizdanie melodii do mikrofonu (*humming, whistling*)
- przesłanie sparametryzowanej informacji o utworze:
  - parametryzacja pliku
  - parametryzacja strumienia danych „na żywo”, np. muzyki nadawanej właśnie przez radio

Przesłanie zapytania

Podejście intuicyjne do wyszukiwania multimedialnego:

- przesyłamy do serwera nagranie (plik)
- serwer parametryzuje nagranie i dokonuje wyszukiwania

Wady:

- obciążenie łącza (duża ilość danych)
- obciążenie serwera (wielu klientów)
- długi czas oczekiwania na wynik

Przesłanie zapytania

Lepsze rozwiązanie:

- oprogramowanie po stronie klienta dokonuje parametryzacji (np. aplet Java w przeglądarce internetowej)
- do serwera przesyłane są tylko parametry
- serwer dokonuje tylko wyszukiwania

Korzystamy z rozproszonej struktury bazy danych.

Wprowadzanie danych

Przykładowy panel do wprowadzenia zapytania: nagranie dźwięku lub podanie zapisu nutowego

Zastosowanie systemów MIR

Możliwe zastosowania systemów rozpoznawania muzyki:

- wyszukiwanie danych o nagraniu (użytkownik przesyła nagranie lub nuci melodię, chce poznać wykonawcę i tytuł)
- ochrona praw autorskich – porównywanie nagrań, wyszukiwanie plagiatów
- monitorowanie programu radiowego – automatyczne tworzenie listy emitowanych nagrań
- systemy rekomendacji muzyki

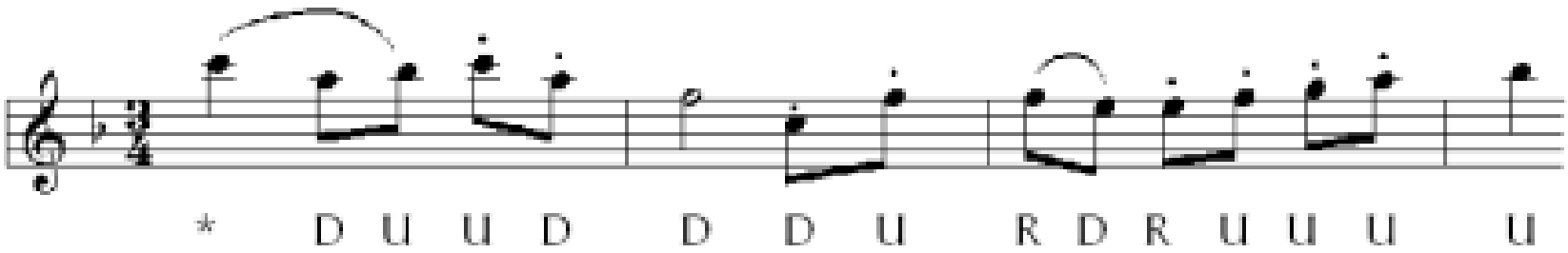
Kontur melodyczny

Najprostszy opis: kontur melodyczny jest zapisywany przy pomocy kodu Parsonsa.

Zapisywana jest tylko informacja o wysokości każdej nuty względem poprzedniej:

U – wyższa, D – niższa, R (lub S) – taka sama.

Przykładowy kod: *UURRDUDDDDDRUDUD

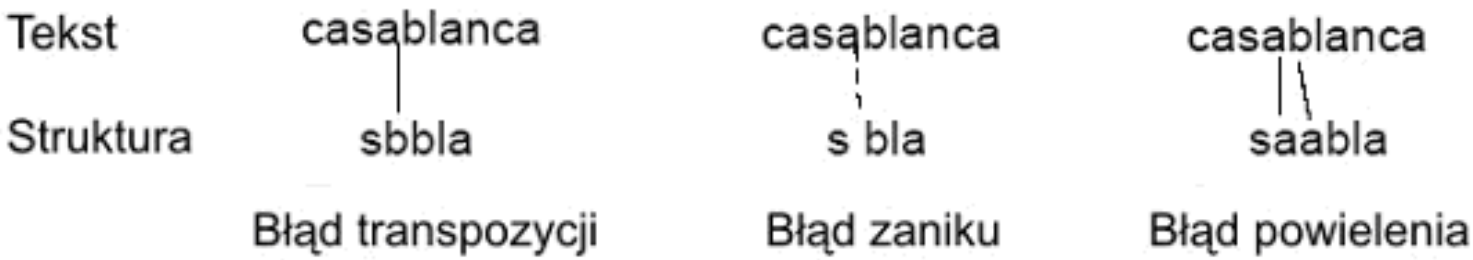


Kontur melodyczny

Zakłada się, że kod Parsonsa dla danej melodii jest unikalny. Kod jest nieczuły na:

- drobne zafałszowania przy nuceniu melodii,
- błędy rytmiczne (czasy trwania nut).

Mogą jednak wystąpić błędy, które należy brać pod uwagę podczas wyszukiwania:



Wyszukiwanie danych

Zadanie dla algorytmu wyszukującego:

- wyszukać wystąpienia wzorca
  P = p1 p2 p3 … pm
- w ciągach tekstowych T = t1 t2 t3 … tn
- przy założeniu maksimum *k* różnic

Baza zwraca listę znalezionych utworów uszeregowanych wg podobieństwa do zapytania.

Algorytmy wyszukiwania:

- obliczanie odległości ciągów
- drzewa binarne i inne algorytmy

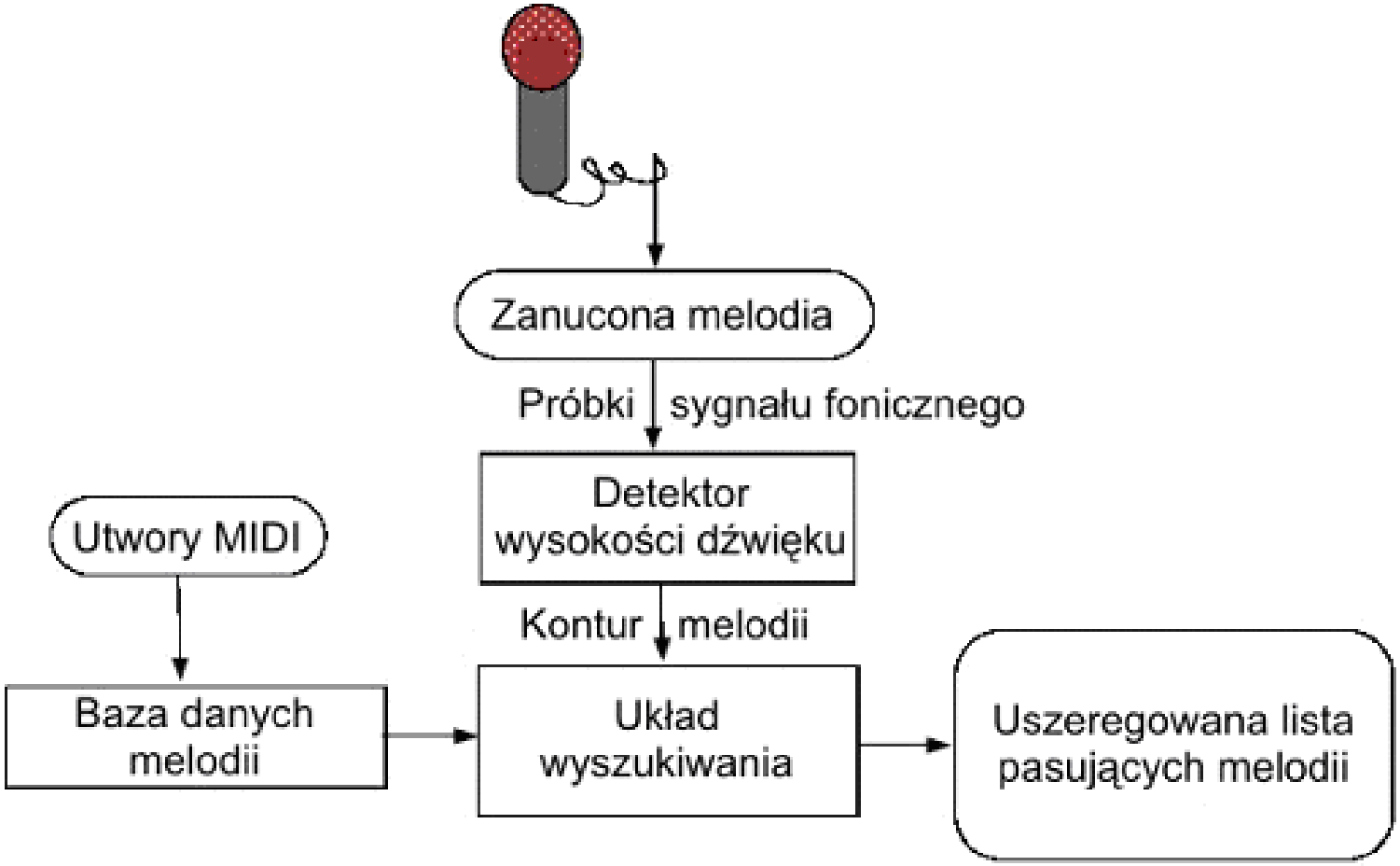
Systemy QBH

QBH – *Query-by-Humming* („zapytanie przez zanucenie melodii”)

- użytkownik nuci lub gwiżdże do mikrofonu melodię,
- algorytm śledzenia wysokości dźwięku (*pitch tracking*) zamienia melodię na kontur melodyczny,
- moduł wyszukujący porównuje kontur melodyczny uzyskany z zapytania z konturami zapisanymi w bazie, znajduje najbardziej podobne obiekty.

Schemat systemu QBH

Ghias *et al.*, 1995



QBH – baza danych

- Baza danych systemu QBH jest tworzona przez parametryzację zbioru nagrań.
- Interesuje nas tylko informacja o głównej linii melodycznej.
- Bazy w systemach QBH są tworzone na podstawie zapisu nutowego lub na podstawie plików MIDI.
- Niewiele prac dotyczy wyodrębniania melodii z plików audio.
- Kontur melodyczny może być zapisany za pomocą kodu Parsonsa.

Ocena systemu QBH

Oryginalny system QBH Ghiasa (1995):

- 183 utwory w bazie, uzyskane z plików MIDI (z kanałów zawierających linię melodyczną)
- sekwencje o długości 10-12 nut wystarczają do rozróżnienia 90% utworów w bazie
- przy odpowiednim zanuceniu melodii uzyskuje się blisko 100% skuteczność wyszukiwania
- baza danych jest mała, zwiększenie obiektów w bazie danych powoduje liniowy wzrost czasu wyszukiwania

Rozszerzenia systemu QBH

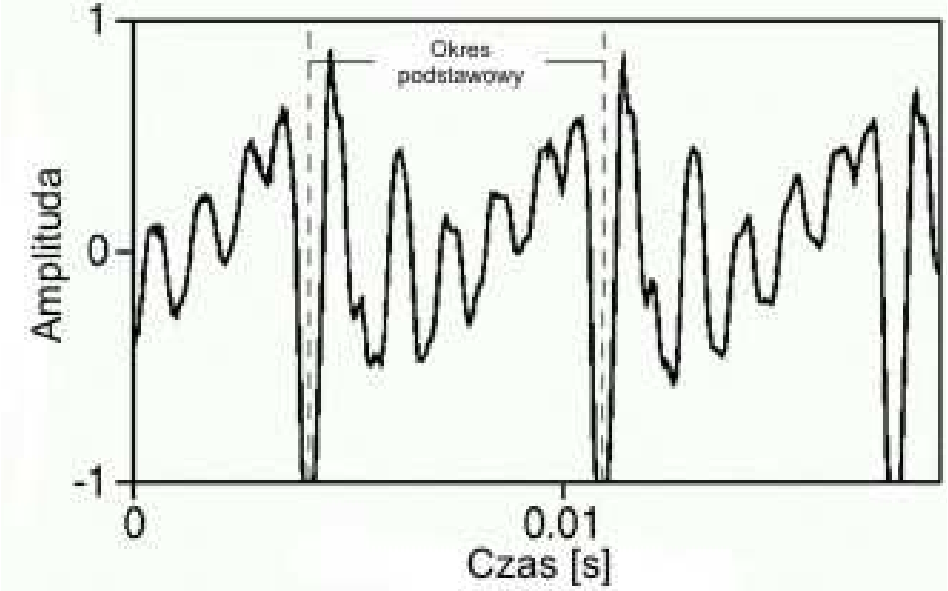
Bardziej zaawansowane systemy QBH używają do wyszukiwania informacji o:

- konturze melodycznym (np. kod Parsonsa)
- informacji o bezwzględnych wysokościach nut
- informacji o czasie trwania poszczególnych nut

Detekcja wysokości nuty może wykorzystywać różne algorytmy (autokorelacja, liczenie przejść przez zero, itp.).

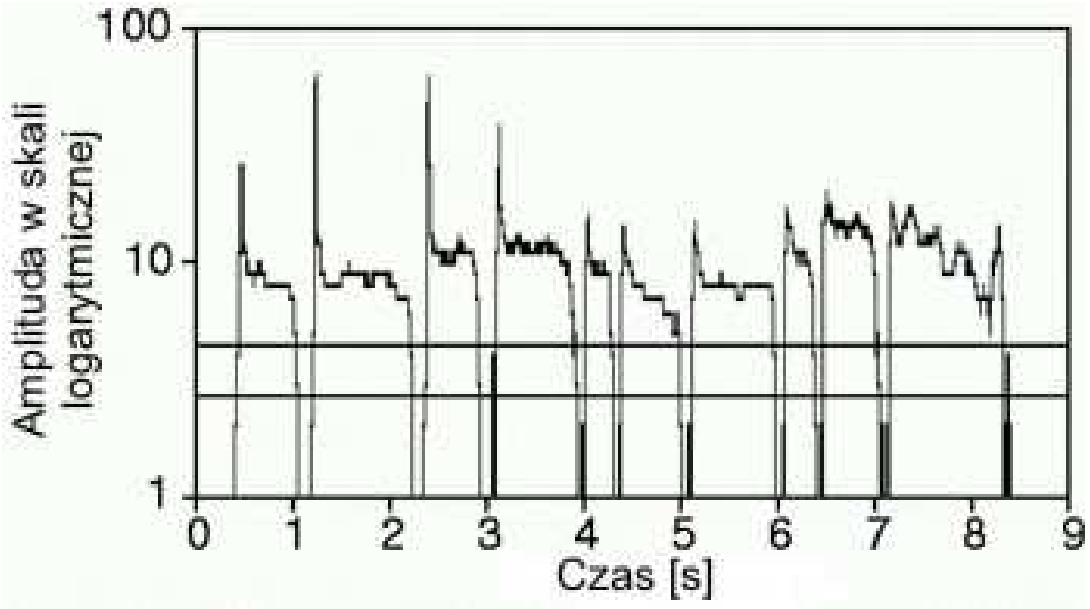
Detekcja wysokości nut (przykład)

- Sygnał jest przetwarzany przez filtr dolnoprzepustowy – ogr. pasma do 1 kHz.
- Detektor wyznacza w przetworzonym sygnale powtarzający się okres podstawowy
- Analiza w ramkach o dł. 20 ms.



Detekcja czasu trwania nut (przykład)

- Użytkownik nucąc melodię wyraźnie rozdziela każdą nutę („na na na na…”).
- Gwałtowny wzrost, a następnie spadek amplitudy sygnału (trwający ok. 60 ms).
- Wartości progowe amplitudy pozwalają wyznaczyć początek i koniec każdej nuty.



QBH a QBW

Czasami rozróżnia się dwa typy QBH:

- właściwe QBH – zapytanie przez „zanucenie”
- *Query by whistling* – zapytanie przez zagwizdanie melodii

Oba typy wykorzystują te same algorytmy.

QBW w porównaniu do QBH:

- znacznie prostsza analiza (gwizdanie produkuje wielotony łatwe do analizy)
- trudniej jest podać melodię bez zafałszowań

Query by rhythm

- QBR (*Query by Rhythm*) to metoda, w której podaje się kontur rytmiczny, np. przez wystukanie rytmu na klawiaturze komputerowej.
- Jest mało dokładna, rytm rzadko identyfikuje jednoznacznie utwór, trudno dokładnie podać rytm utworu.
- Metoda raczej pomocnicza, stosowana wraz z innymi metodami.

Optymalizacje wyszukiwania

Przyspieszenie wyszukiwania danych wymaga zastosowania zaawansowanych algorytmów.

Algorytm podstawowy:

- obliczenie odległości między ciągiem zapytania a wszystkimi ciągami w bazie.

Długi czas wyszukiwania – trzeba dokonać obliczeń dla każdego ciągu parametrów w bazie.

Optymalizacje wyszukiwania

Algorytm usprawniony:

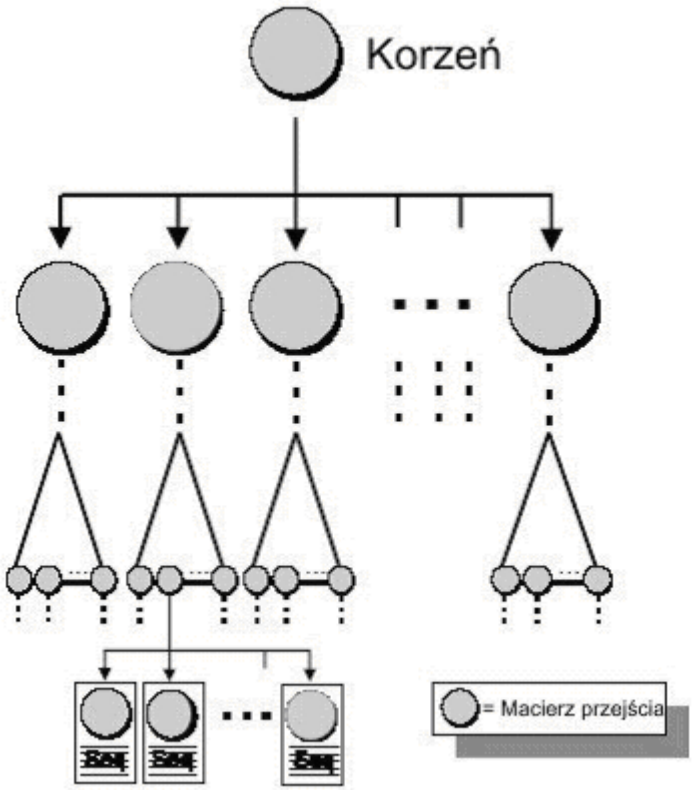
- wybieramy losowo z bazy *k* obiektów – punktów węzłowych, liczymy ich odległość od każdego obiektu w bazie
- każdy obiekt jest przypisany do najbliższego punktu węzłowego
- liczymy odległość szukanego ciągu od *k* punktów węzłowych
- wybieramy najbliższy punkt węzłowy i liczymy odległość tylko od jego punktów potomnych

Optymalizacje wyszukiwania

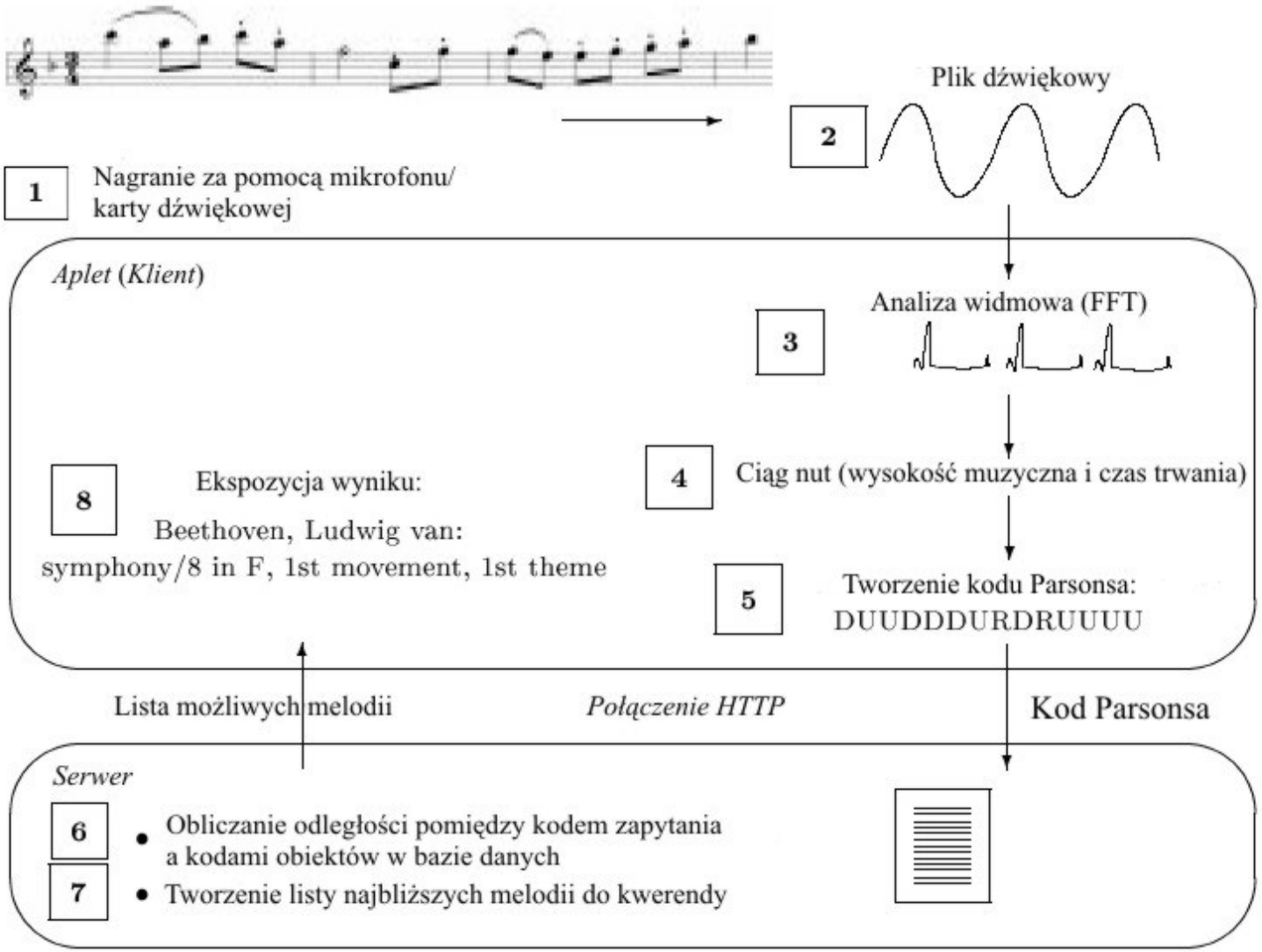
Przy dużych zbiorach danych można powtórzyć tą operację dla mniejszych grup ciągów.

Tworzy się w ten sposób struktura drzewiasta.

Na każdym poziomie drzewa – wybór potomka z najmniejszą odległością.

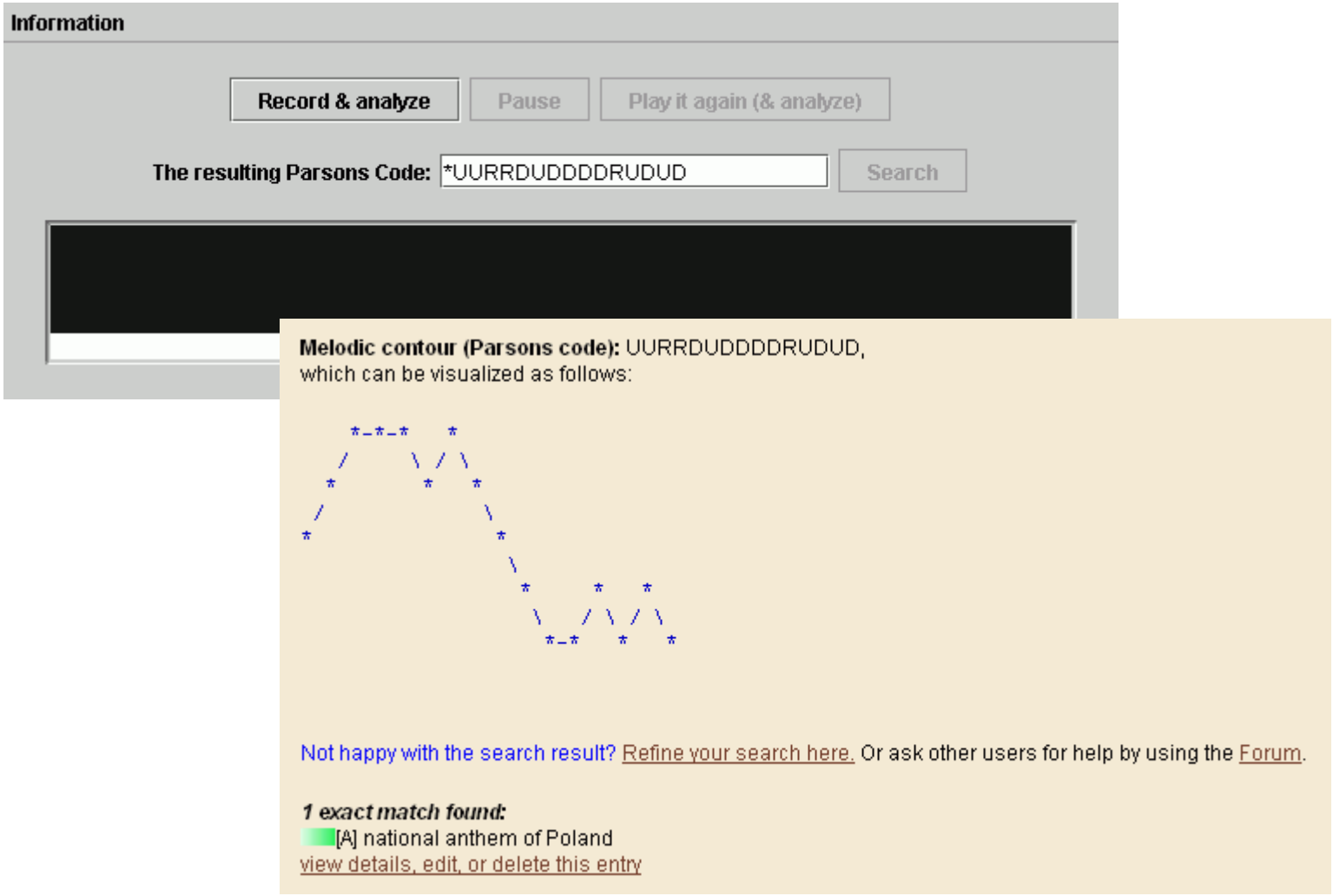


Przykład: system Musipedia



Przykład: system Musipedia

http://www.musipedia.org



Musipedia - parametryzacja

Parametryzacja:

- podział sygnału na ramki
  (46 ms, zakładkowanie 50%)
- analiza widmowa każdej ramki (FFT) – decyzja:
  - sygnał – częstotliwość i amplituda maksimum
  - cisza
- ramki zawierające sygnał są łączone w nuty, rozdzielone ciszą lub gwałtowną zmianą częstotliwości
- częstotliwości nut zamieniane są na kod Parsonsa.

Parametry analizy mogą być ustawiane przez użytkownika.

Musipedia - wyszukiwanie

Wyszukiwanie danych w systemie Musipedia:

- obliczanie odległości między kodem Parsonsa szukanego nagrania a wszystkimi kodami zapisanymi w bazie danych
- miara odległości – ważona suma minimalnej liczby przekształceń kodu (wstawień, zamiany i usunięć znaków) potrzebnej do dokładnego dopasowania
- zwracana jest lista „najbliższych” elementów
- podawane są również informacje dodatkowe o utworze, jeżeli zostały wprowadzone do bazy (np. zapis nutowy, możliwość zakupu płyty, itp.)

Musipedia - skuteczność

Skuteczność systemu Musipedia oceniana za pomocą zbioru testowego, przy gwizdaniu melodii:

- przy braku zakłóceń w sygnale wejściowym uzyskuje się średnią liczbę poprawnych odpowiedzi 4 na 5
- szum pochodzący od oddechu ma największy wpływ na skuteczność (szum ten jest filtrowany, parametry filtracji mogą być regulowane przez użytkownika)
- liczba nut mniejsza niż 8 znacząco pogarsza skuteczność
- najbardziej podatne na błędy w kodzie Parsonsa są elementy R
- najczęstsze zniekształcenia w kodzie Parsonsa to kody wstawienia
- skuteczność zależy też od muzyki (uzyskano większą skuteczność dla muzyki Mozarta i Haydna)

Midomi / SoundHound

Midomi – obecnie część systemu *SoundHound* (www.soundhound.com)

- jedyny komercyjny system wykorzystujący technologię QBH (nucenie, śpiewanie)
- oprócz tego umożliwia wyszukiwanie według przykładu oraz przez rozpoznawanie głosu (wypowiedzenie tytułu lub wykonawcy)
- baza QBH w 100% opracowana przez użytkowników
- technologia wyszukiwania nosi nazwę *Sound2Sound*
- aplikacje klienta dla urządzeń mobilnych

Midomi / SoundHound

Technologia rozpoznawania muzyki wykorzystuje m.in. informacje o:

- zmianach wysokości dźwięku,
- rytmie,
- położeniu pauz,
- zawartości fonetycznej,
- treści mowy.

Dane są wykorzystywane w zależności od typu zapytania. Np. treść mowy jest wykorzystywana przy śpiewaniu, a nie jest wykorzystywana przy nuceniu.

Wyszukiwanie jest niezależne od tonacji, tempa, języka i (do pewnego stopnia) jakości śpiewu.

Systemy MIR audio

Drugą grupę systemów MIR, obok QBH, stanowią systemy, w których zapytanie kieruje się za pomocą danych audio:

- pliki dźwiękowe (WAV, MP3, itp.)
- strumień audio (np. z radia „na żywo”)

Systemy tego typu nazywa się czasami QBE (ang. *Query by Example* – zapytanie przez przykład).

Parametryzacja jest trudniejsza niż w QBH.

SOMeJB

System SOMeJB – służy do klasyfikacji plików dźwiękowych wg podobieństwa.

Zastosowanie – np. rekomendacja muzyki.

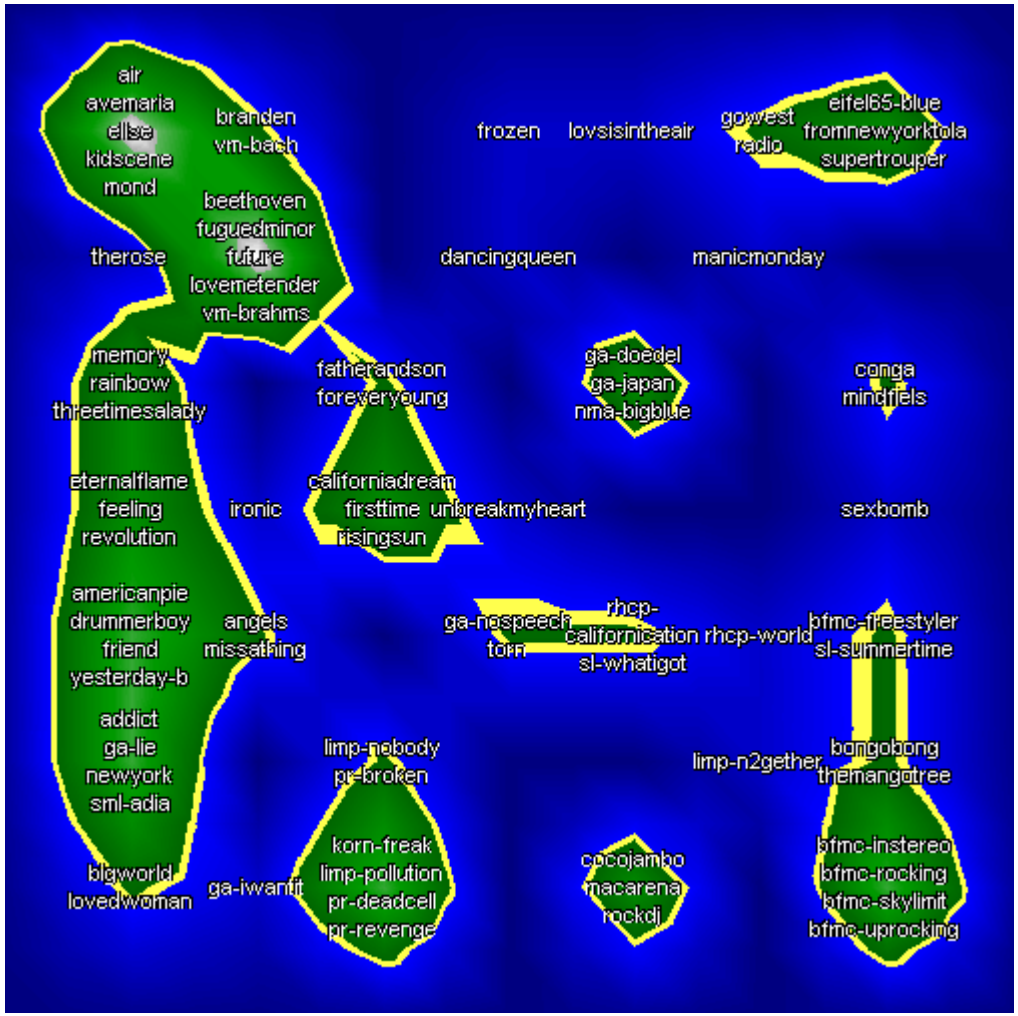
Zasada działania:

- uzyskanie przebiegu głośności dźwięku
- uzyskanie informacji o rytmie utworu
- klasyfikacja – zastosowanie sieci Kohonena (SOM – samoorganizujące się mapy), faza treningu sieci, klasyfikacja nowych obiektów

SOMeJB

Przykład mapy SOM

– „wyspy muzyki”



Philips Audio Fingerprinting

Philips Audio Fingerprinting Technology
– algorytm opracowany przez firmę Philips, służący do identyfikacji nagrań muzycznych :

- przesyłanych w postaci strumienia (*on-air*),
- przesłanych w postaci pliku

Technologia komercyjna, dostarczana jako zestaw procedur (API) do zaimplementowania w oprogramowaniu klienta.

System „klient-serwer” (serwer w firmie Philips).

Nie jest znana dokładna struktura algorytmów parametryzujących i wyszukujących dane.

Philips Audio Fingerprinting

Oprogramowanie po stronie klienta oblicza sygnaturę (*fingerprint*, „odcisk palca”):

- *sub-fingerprints* – obliczone na podstawie krótkich ramek czasowych (kilka milisekund)
- *fingerprint blocks* – sygnatury złożone z 256 *sub-fingerprints* dla tego samego nagrania (ok. 3 sek.)

Fingerprint-blocks są przesyłane do serwera, który dokonuje ich identyfikacji.

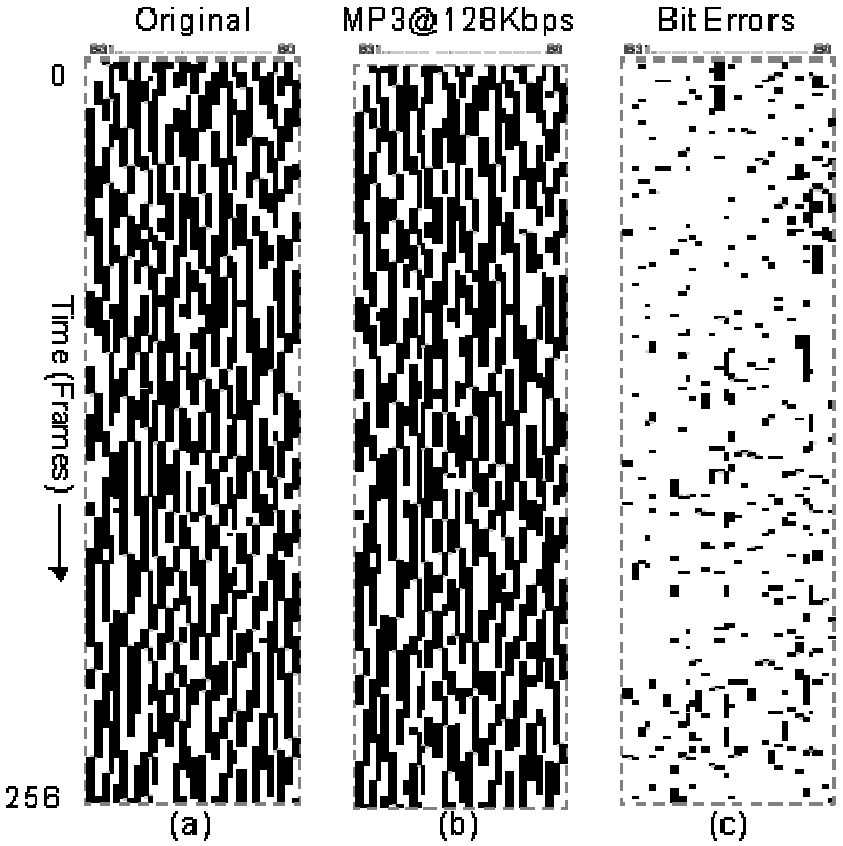
Serwer przesyła identyfikator utworu (*Song ID*) oraz pozycję wewnątrz pliku, odpowiadającą sygnaturze.

Philips Audio Fingerprinting

Według autorów, system jest niewrażliwy na:

- zmniejszanie przepływności do 64 kbit/s,
- filtrację,
- dodawanie echa,
- przepróbkowanie,
- transpozycję,
- zaszumienie.

Wystarczy fragment o długości 3 s.



AcoustID / MusicBrainz

- AcoustID – system rozpoznawania muzyki, opracowany na licencji Open Source.
- Adres: acoustid.org
- Wykorzystuje algorytm parametryzacji o nazwie *Chromaprint*.
- Jest wykorzystywany m.in. w systemie *MusicBrainz* (www.musicbrainz.org) do opisywania (tagowania) plików muzycznych na podstawie zawartości.

Chromaprint

Krótki opis algorytmu:

- analizowane są pierwsze 2 minuty utworu,
- obliczenie widma (FFT),
- analiza prowadzona dla 12 zakresów wysokości (*pitch classes*), odpowiadającej nutom w obrębie jednej oktawy
- zapis parametrów 8 razy na sekundę dla każdego zakresu
- postprocessing – usunięcie nadmiarowych danych przy zachowaniu wzorca

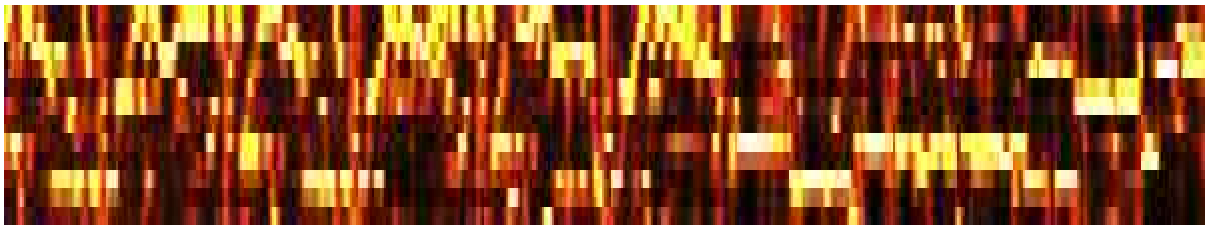
Chromaprint

Bardziej szczegółowy opis

(na podstawie: http://oxygene.sk/2011/01/how-does-chromaprint-work/)

Postać czasowa

Spektrogram



Wynik
dla 12 nut

Chromaprint

Wyniki analizy – obrazy uzyskane dla poszczególnych okien analizy, są parametryzowane za pomocą filtrów graficznych:

- 16 filtrów
- każdy daje wynik w postaci liczby od 0 do 3
- wynik zapisywany na dwóch bitach
- sumaryczny wynik: liczba 32-bitowa

Zbiór tych liczb dla kolejnych okien analizy stanowi wzorzec (*fingerprint*)

Chromaprint - przykład

Heaven FLAC

Heaven 32kbps MP3

Differences between Heaven FLAC and Heaven 32kbps MP3

Pierwszy utwór

Under The Ice FLAC

Under The Ice 32kbps MP3

Differences between Under The Ice FLAC and Under The Ice 32kbps MP3

Drugi utwór

Differences between Heaven FLAC and Under The Ice FLAC

Różnica obu utworów

AcoustID w praktyce

Działanie systemu:

- użytkownik wprowadza wyszukiwane nagranie (plik) do aplikacji klienta
- po stronie klienta: parametryzacja za pomocą algorytmu *Chromaprint*
- przesłanie wzorca do serwera
- serwer: porównanie wzorca z zapisanymi w bazie
- odesłanie wyników do klienta
- klient: zapisanie danych zatwierdzonych przez użytkownika w znacznikach utworu

Query by Mobile Phone

Systemy rozpoznawania muzyki przesyłanej na żywo za pomocą telefonów komórkowych

- rejestracja strumienia (utrudnienie: duże zaszumienie sygnału)
- parametryzacja – po stronie serwera (obecnie już rzadko) lub klienta
- odpowiedź – dane o utworze
- możliwość zakupu utworu, pobrania dzwonka
- systemy muszą być w stanie rozpoznać utwór na podstawie krótkiego fragmentu (nie początkowego) i często przy dużych zakłóceniach.

Przykłady: *Shazam*, *SoundHound*

Shazam

Shazam (www.shazam.com) – przykład popularnego, komercyjnego systemu typu *Query by Mobile Phone*

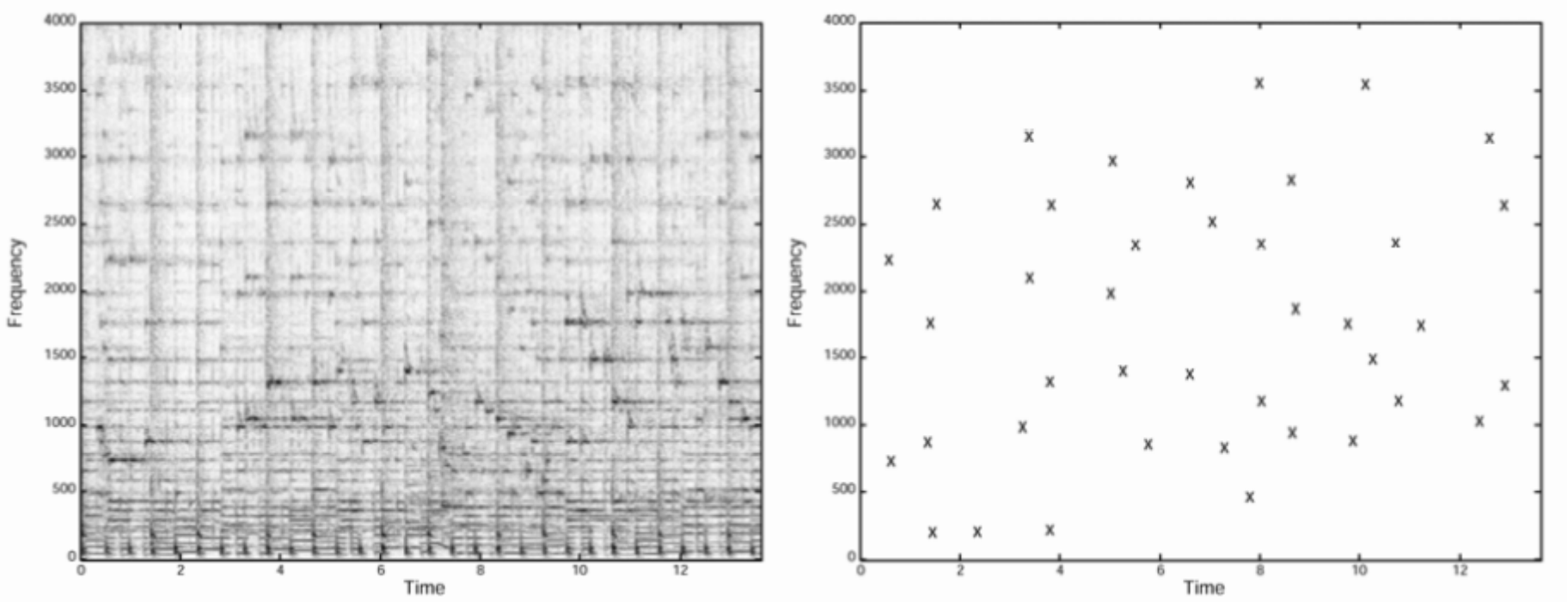
- aplikacje klienckie dla większości używanych systemów operacyjnych
- sygnał rejestrowany przez mikrofon urządzenia
- według autorów, wystarcza nagranie o długości 1 sekundy (w praktyce do 15 s.)
- obliczony wzorzec przesyłany jest do serwera
- wyniki: dane o utworze, odnośniki do sklepów, informacje o wykonawcy, itp.

Shazam – zasada działania

Opis działania systemu Shazam
(na podstawie: http://www.soyoucode.com/2011/how-does-shazam-recognize-song)

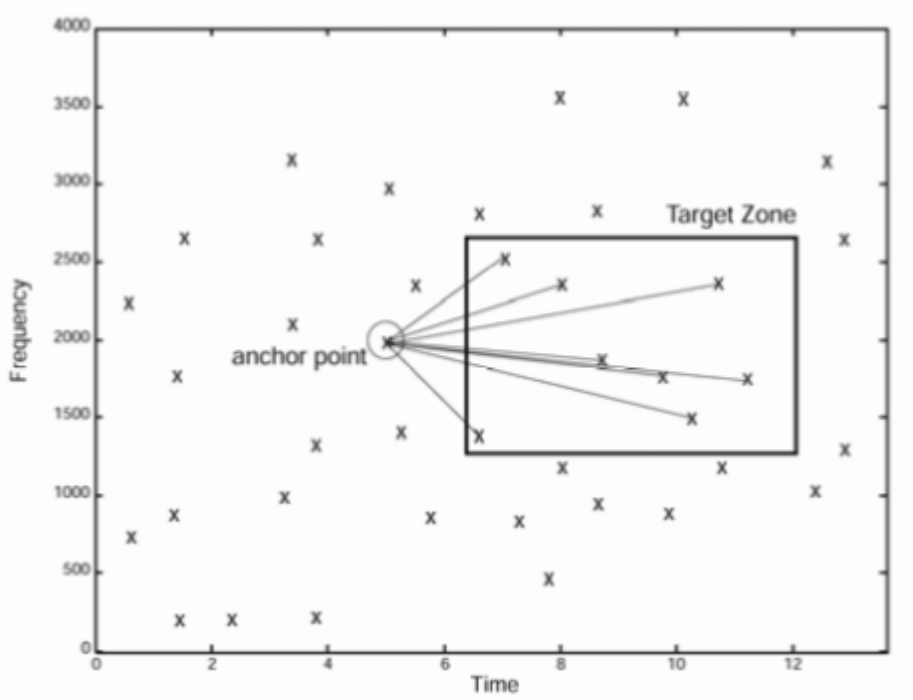
Sposób wyznaczania wzorca:

- obliczenie spektrogramu
- wyznaczenie dominujących składowych



Shazam – zasada działania (cd.)

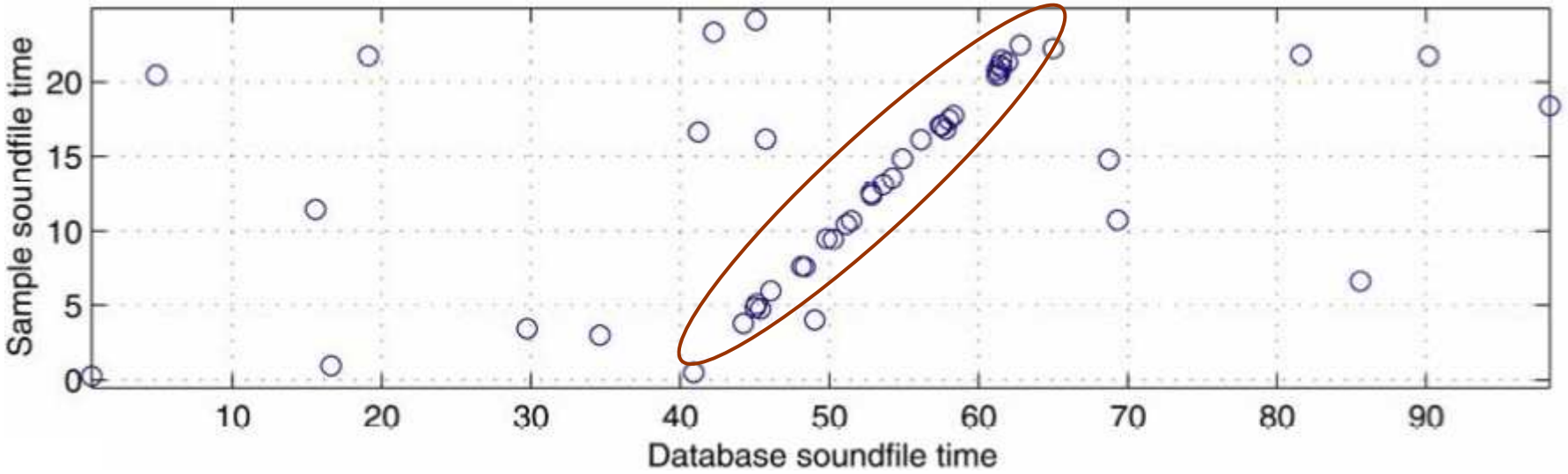
- Wybierane są punkty (*anchor points*) i strefy w ich pobliżu (*target zones*)
- Obliczane są odległości między punktem *anchor* i każdym z punktów w strefie
- Odległość zapisywana jako *hash*,
  np. punkty
  (t_1, f_1) i (t_2, f_2)
  hash =
  (f1+f2+(t2-t1))+t1
- Wszystkie hashe zapisywane we wzorcu



Shazam – zasada działania (cd.)

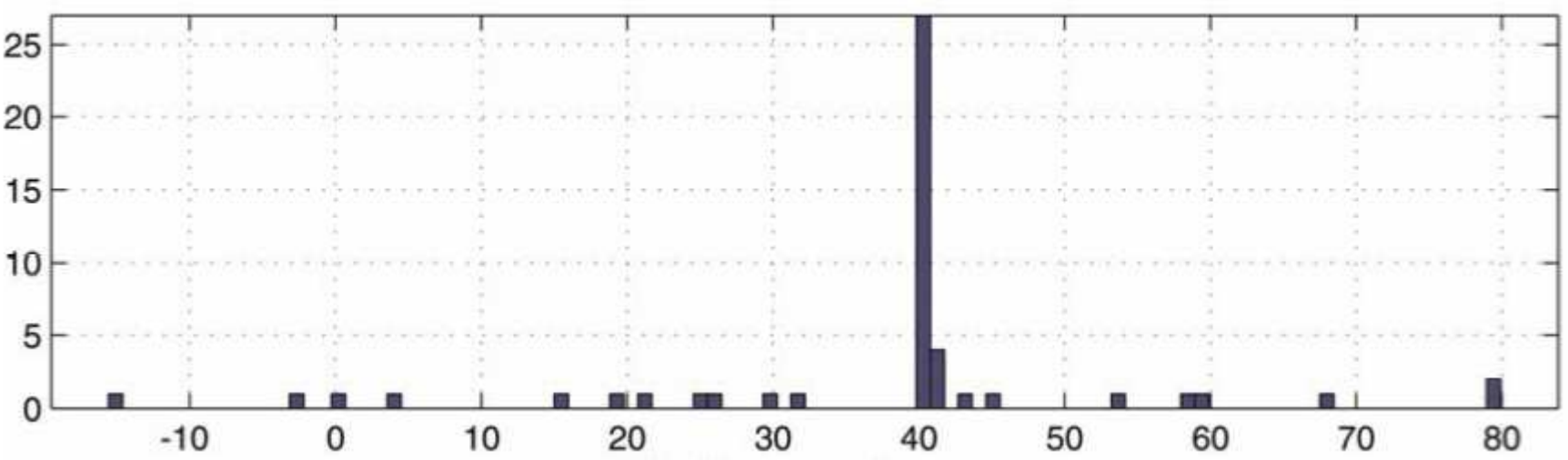
Wyszukiwanie:

- obliczenie wzorca dla wyszukiwanego utworu
- znalezienie pasujących hashów z obu wzorców
- zaznaczenie na wykresie (*scatter graph*) czasu wystąpienia dopasowania
- ciąg dopasowań tworzących linię prostą oznacza znalezienie dopasowania



Shazam – zasada działania (cd.)

- Różnice czasu wystąpienia dopasowania są zaznaczano na histogramie.
- Wysoki słupek histogramu = stała różnica, zatem mamy dopasowanie utworu!



Opis na podstawie: http://www.soyoucode.com/2011/how-does-shazam-recognize-song

Wykorzystanie MPEG-7

Standard MPEG-7 definiuje deskryptory audio – parametry identyfikujące dane nagranie.

Wykorzystanie w MIR:

- parametryzacja – obliczenie wartości deskryptorów
- użycie deskryptorów jako metadanych, zapisywanych w bazie i wykorzystywanych do wyszukiwania.

Należy wybrać (metodą eksperymentalną) zbiór deskryptorów pozwalających najlepiej rozróżniać nagrania muzyczne.

Przyszłość systemów MIR

Domowa stacja audio:

- wyszukiwanie informacji o utworze
- identyfikacja mówcy (preferencje)
- układanie list odtwarzania (*playlists*), również za pomocą głosu i gestykulacji
- rekomendacja muzyki
- informacje zwrotne – synteza mowy