Rafał Cieślak
nr albumu : 34203
kierunek studiów: Informatyka
specjalność: Systemy komputerowe i opramowanie
forma studiów: stacjonarne

Identyfikacja akustyczna rodzaju zdania w systemach dialogowych

Acoustic identification of sentence type in dialogue systems

Praca dyplomowa inżynierska wykonana pod przewodnictwem:
dr inż. Tomasz Mąka

Szczecin 2019

Spis treści

Spis rysunków

Streszczenie

Niniejsza praca inżynierska dotyczy analizy przebiegu intonacji w zdaniach wypowiedzianych w języku polskim. Omówione zostały zagadnienia związane z wytwarzaniem mowy, częstotliwością podstawową oraz funkcjami intonacji. Celem pracy było zaobserwowanie charakterystycznych cech, towarzyszących każdemu z rodzajów wypowiedzi. W ramach pracy sporządzono bazę 90 nagrań, których intonacja była poddawana analizie wizualnej. Na podstawie tych obserwacji zaimplementowany został program, dokonujący klasyfikacji wypowiedzi. Do esktrakcji intonacji użyty został algorytm YIN. W ramach pracy porównano również skuteczność zaproponowanej metody klasyfikacji dla wartości intonacji uzyskanych za pomocą programu PRAAT.

Abstract

This engineering thesis concerns analysis of intonation in utterances spoken in Polish. Among discussed topics there were ones related to speech production, fundamental frequency and functions of intonation.The purpose of this thesis was to observe the characteristic features that accompany various types of utterance. As part of a work, a database of 90 recordings was prepared. Their intonation was analysed. Basing on these observations, the classifying program has been implemented.The YIN algorithm was used as a way to isolate the intonation.As part of the work, a comparison was made between the classification results obtained using the proposed method, for intonation isolated by YIN and PRAAT.

Wstęp

Mowa jest najpowszechniejszym sposobem komunikacji międzyludzkiej. Używając jej na codzień, nie zdajemy sobie sprawy jak bardzo złożonym jest procesem. Wydaje się być czymś normalnym i oczywistym. Mimo tego, że otacza nas cały czas, nauka wciąż nie poznała dokładnie wszystkich mechanizmów stojących za jej wytwarzaniem i rozumieniem. Złożoności dodaje fakt, że w mowie nie chodzi tylko o wypowiedziane słowa. Dla naszego odbierania mowy ważna jest również cała otoczka - ton głosu, jego barwa, akcentowanie i wiele więcej cech, których postrzeganie jest subiektywne. Dawno zostało zauważone, że cechy te mogą istotnie wpływać na nasze życie. Ludzie podświadomie wybierają towarzystwo osób, których głos jest dobrze przez nich postrzegany. Bez tych otaczających wypowiadane słowa cech, nasza mowa brzmiałaby podobnie do uzyskiwanej za pomocą syntezatorów.

Jedną z takich cech jest intonacja. Przy tym jest jednym ze słabiej poznanych zagadnień związanych z wytwarzaniem oraz percepcją mowy. Nie niesie ze sobą żadnej semantycznej treści, dotyczy tego w jaki sposób coś mówimy, a nie co mówimy. Nie zdajemy sobie na codzień z tego sprawy ale bez niej bardzo trudne byłoby zrozumienie języka mówionego i przekazywanych za jego pomocą myśli. Wpływa na nasze postrzeganie zdań wypowiedzianych przez naszego rozmówcę. Dzięki niej momentalnie wiemy czy osoba, z którą rozmawiamy zadała nam pytanie czy nakazała nam wykonanie jakiejś czynności. Nie potrzebujemy do tego znaków przestankowych, używanych w języku pisanym.

Celem pracy jest zrozumienie jak bardzo wpływa na ten proces i odpowiedź na pytanie czy analizowanie samej intonacji jest wystarczające do stwierdzenia do jakiej kategorii można zakwalifikować daną wypowiedź. W tym celu podjęta zostanie próba wykrycia charakterystycznych cech intonacji, związanych z różnymi typami wypowiedzi, których zastosowanie umożliwi automatyczne klasyfikowanie zdań przez program.

Jako, że analiza będzie się opierać w głównej mierze na próbach zauważenia charakterystycznych róznic między róznymi wypowiedziami, metodą badawczą zastosowaną w tej pracy będzie metoda obserwacyjna.

Praca została podzielona na trzy główne rozdziały:

- W rozdziale pierwszym przedstawione zostały istotne zagadnienia teoretyczne związane z produkcją mowy, wytwarzaniem częstotliwości podstawowej, oraz przybliżone zostały funkcje intonacji
- W rozdziale drugim omówiony został sposób implementacji wykrywania poszczególnych segmentów w przebiegu całej intonacji
- W rozdziale trzecim przedstawione zostały rezultaty analizy charakterystycznych cech dla poszczególnych rodzajów wypowiedzi.

1 Wprowadzenie teoretyczne

1.1 Sygnał mowy

Mową okreslamy komunikowanie się między sobą ludzi, za pomocą ukształtowanego zbioru dźwięków i reguł, zwanego językiem. Każdy język używa własnych fonetycznych kombinacji zbioru spółgłosek i samogłosek, które tworzą słowa mające semantyczne znaczenie. W czasie mówienia, osoba mówiąca poza samym wypowiadaniem słów, nadaje wypowiedzi znaczenie również za pomocą dodatkowych aspektów, takich jak intonacja, tempo mówienia czy stopień głosnosci. Sama produkcja mowy jest wielokrokowym procesem zamiany myśli w ustną wypowiedź, która może być zarejestrowana jako sygnał mowy.

1.1.1 Powstawanie mowy

Sygnal mowy ludzkiej jest sygnałem akustycznym powstającym podczas przepływu powietrza poprzez aparat mowy, który jest definiowany jako 3 osobne grupy narządów. [2]

Składowymi aparatu mowy są:

1. Aparat oddechowy. Bierze udział w początkowej fazie powstawania mowy, dostarczając kolejnym składowym strumień powietrza, który jest niezbędny do wygenerowania drgań. Dzieje się to podczas wydechu. Elementy, z których jest zbudowany to płuca, oskrzela, przepona oraz tchawica.

2. Aparat fonacyjny, którego głównym elementem jest krtań. Jest to narząd niezbędny do wygenerowania jakiegokolwiek dźwięku, nie tylko mowy. Najważniejszym elementem krtani, w kontekście procesu powtarzania dźwięku, są fałdy głosowe. W ich skład wchodzą więzadła głosowe oraz mięśnie głosowe. Przestrzeń pomiędzy nimi nazywana jest szparą głośni. Struktury te przybliżają się i oddalają od siebie podczas powstawania dźwięku co powoduje zwarcie i rozwarcie szpary głośni. Podczas oddychania oraz przy generowaniu głosek bezdźwięcznych, fałdy są rozsunięte, natomiast zwierają się i rozwierają podczas powstawania głosek dźwięcznych.

Rysunek 1: Fałdy głosowe Źródło [1]

Dzięki tej czynności, strumień powietrza wprowadzany jest w drgania, co postrzegamy jako dźwięczność. Cecha ta występuje wraz z każdą samogłoską oraz przy niektórych spółgłoskach. Podczas drgań generowany jest ton krtaniowy, zwany również częstotliwością podstawową, oznaczany w literaturze jako F0.

3. Aparat artykulacyjny, w którego skład wchodzą jamy przewodu oddechowego, znajdującego się ponad krtanią. Najważniejsze z punktu widzenia artykulacji - nosowa, gardłowa oraz ustna - nazywane są nasadą. Artykulatory znajdujące się w nasadzie dzielone są na ruchome oraz nieruchome. Do ruchomych zaliczamy język, podniebienie miękkie, wargi oraz żuchwę. Nieruchomymi określamy zęby, dziąsła oraz podniebienie twarde. Ich ustawienie ostatecznie determinuje cechy wytwarzanego dźwięku.

W zależnosci od tego czy dana głoska jest dźwięczna czy bezdźwięczna proces powstawania dźwięku przebiega w trochę inny sposób. W obu przypadkach w początkowej fazie wzrasta cisnienie w płucach, co prowadzi do wydechu. [4] Powietrze dostaje się do tchawicy. Na szczycie tchawicy znajduje się krtań, należąca do aparatu fonacyjnego. W przypadku głosek dźwięcznych, w miarę przepływu powietrza przez głosnię, spada lokalne cisnienie, co pozwala mięsniom krtani zamknąć głosnię, przerywając przepływ powietrza. To powoduje wzrost cisnienia, prowadzący do kolejnego oddalenia się strun głosowych. Cały ten cykl zapętla się, struny wibrują tworząc dźwięk, kierowany do aparatu artykulacyjnego. Na tym etapie, poza artykulacją, zachodzi również tłumienie niektórych częstotliwosci, nie będących harmonicznymi fali głosniowej. Nie wytłumione zostają tylko częstotliwosci będace bliskie naturalnemu rezonansowi traktu głosowego. Ruszając szczęką, ustami lub zmieniając połozenie języka, możemy zmieniać uzyskiwany dźwięk, ponieważ zmieni się rezonans traktu głosowego, a zatem inne częstotliwosci zo-

staną wytłumione. Gdy wypowiadane są głoski bezdźwięczne, krtań nie odgrywa istotnej roli, a modulacja dźwięku odpowiedzialna za uzyskanie brzmienia głoski odbywa się w aparacie artykulacyjnym. Jako rezultat kompletnego procesu, uzyskiwana jest fala akustyczna, wydostająca się z ust. Prawdziwość opisanych różnic między dwoma rodzajami głosek można sprawdzić w prosty sposób, przykładając palce do krtani. W czasie wypowiadania głosek dźwięcznych czyli wszystkich samogłosek oraz części spółgłosek, takich jak b, d, g, w, z, ź, ż, l, ł, r, m, n, j , dz, dź, dż, wyczuwalne będę wibracje, które nie wystąpią podczas wypowiadania głosek bezdźwięcznych, takich jak p, t, k, f, s, ś, sz, c, ć, cz, ch. Fakt, że wiele różnych narządów bierze udział w tworzeniu mowy powoduje, że zaburzenia zdrowotne każdego z nich mają istotny wpływ na cały proces. Zakres powstałych w ten sposób zaburzeń mowy jest szeroki - od drobnych wad wymowy do całkowitej utraty mowy.

1.1.2 Reprezentacja mowy

W procesie rozwoju technologii związanych z przetwarzaniem mowy, konieczne bylo ustalenie sposobu przedstawienia wypowiedzi za pomocą symboli reprezentujacych wyprodukowany sygnal. Litery, używane w tym celu w języku pisanym, są niewystarczające, ponieważ w różnych wyrazach mogą być wymawiane na rózne sposoby. Często produkowany dźwięk dla danej litery różni się w zależnosci od otaczających ją liter. Dla języka polskiego charakterystyczne jest występowanie tak zwanych dwuznaków, na przykład ”rz,sz,ch”. Dźwięk produkowany dla tych znaków jest calkowicie odmienny od dźwięków reprezentujących każdą z liter osobno. Jednym ze sposobów reprezentowanie dźwięków powszechnie występujących w danym języku są fonemy. Są to najmniejsze elementy języka mówionego, pozwalające na rozróżnienie poszczególnych słów. [10] Często po zamienieniu jednego z fonemów składowych na inny, znaczenie słowa może ulec zmianie. W lingwistyce istnieją rózne sposoby definiowania czym są fonemy oraz w jaki sposób dany język powinien być przez nie reprezentowany. Najczęsciej jednak fonem jest rozumiany jako często powtarzający się w danym języku zbiór głosek. W języku polskim, w zależnosci od sposobu definiowania, liczba fonemów waha sie od 31 do 42. [11]

1.1.3 Rozumienie mowy

Rozumieniem mowy nazywany jest proces, w trakcie którego wypowiedziana mowa jest słyszana, interpretowana oraz rozumiana przez człowieka. Badania nad postrzeganiem mowy są scisle związane z lingwistyką oraz psychologią poznawczą i próbują odpowiedzieć na pytanie w jaki sposób ludzie rozpoznają dźwięki mowy i na ich podstawie rozumieją mówiony język. Rezultaty tych poszukiwań mają swoje zastosowania w tworzeniu systemów komputerowych służących rozpoznawaniu mowy. Rozumienie mowy w danym

języku jest scisle związane z rozpoznawaniem przez mózg fonemów charakterystycznych dla tego języka. Z tego powodu często ludzie uczący się obcego języka znacznie łatwiej przyswajają język w formie pisanej niż mówionej.

1.1.4 Rejestrowanie sygnału mowy

Dźwięk opuszczający aparat mowy może zostać zarejestrowany przez mikrofon w celu poddania szczegółowej analizie. Aby możliwe było przetwarzanie sygnału przez program komputerowy, konieczne jest przetworzenie sygnału z postaci analogowej do cyfrowej. W tym celu pobiera się próbki sygnału. Wartość określającą ilość próbek w jednostce czasu nazywamy częstotliwością próbkowania. Najczęściej spotykana wartość to 44,1 kHz. Oznacza to, że podczas sekundy pobierane jest 44100 wartości sygnału ciągłego. Liczba ta została przyjęta jako standard przy nagrywaniu audio na płytach CD. Tak pobrane próbki, po poddaniu procesowi kwantyzacji, tworzą sygnał cyfrowy. Sygnał dźwiękowy może być nagrywany w wersji monofonicznej lub stereofonicznej. Oznacza to użycie jednego lub dwóch (lewy,prawy) kanałów. Nagrania rejestrowane tymi sposobami różnią się od siebie diametralnie, zarówno w kontekście subiektywnych odczuć słuchacza, jak i podczas przetwarzania sygnału. Kanały w wersji stereofonicznej mogą różnić się od siebie wartościami próbek, zwłaszcza w widmie sygnału.

1.2 Ton podstawowy

1.2.1 Definicja tonu podstawowego

W literaturze własnosć bywa również nazywana częstotliwoscią podstawową lub po prostu oznaczana jest jako F0.W zależności od potrzeb, ton podstawowy bywa różnie definiowany. W kontekście przetwarzania sygnału mowy rozumiany jest jako wibracje strun głosowych, towarzyszące powstawaniu głosek dźwięcznych. Powstałe w ten sposób częstotliwosci mieszczą się w zakresie 85-180Hz dla mężczyzn oraz w zakresie 165-255Hz dla kobiet.Wartosci te mogą być wyższe gdy osoba mówiąca znajduje się pod wpływem silnych emocji. Poza płcią oraz stanem emocjalnym, zależne są również od wieku, budowy i kształtu strun głosowych ogólnego stanu zdrowia oraz rodzaju wypowiedzi. Badania nad częstotliwoscią podstawową produkowaną przez mężczyzn pokazały, że jej srednie wartosci spadają po osięgnięciu 35 roku życia, by ponownie ulec wzrostowi po przekroczeniu 55 roku życia. [12] W przypadku kobiet, wartosci F0 zaczynaja spadać w okresie menopauzy, osiagając finalne wartosci okolo 70 roku zycia. [13] Badania nad wpływem palenia papierosów na wartosci F0 pokazały, że wieloletnie palenie również doprowadza do obniżenia tych wartosci, jako że nawyk ten wpływa negatywnie na krtań. [14] Przebieg częstotliwości podstawowej w dużym stopniu odzwierciedla intonację wypowiedzi. Gdyby

ten przebieg był stały, mowa byłaby odbierana jako monotonna lub brzmiąca maszynowo. Pełni istotną funkcję w językach tonalnych, w których wielu słów jest zapisywanych tak samo, a jedynie nadawany im ton pozwala rozróżnić ich znaczenie. Z tego powodu też poprawna estymacja F0 jest konieczna w systemach rozpoznawania mowy dla języków tonalnych. Dla idealnie okresowego sygnału, częstotliwość podstawowa byłaby po prostu odwrotnością okresu. Okresem nazywamy czas pomiędzy kompletnym cyklem otwarcia i zamknięcia głosni. Jednak sygnał mowy jest sygnałem bardzo dynamicznym, co sprawia, że estymacja F0 przestaje być zadaniem trywialnym. Dodatkowo transformacja sygnału analogowego do postaci dyskretnej, wiążąca się zawsze z utratą danych oraz towarzyszący nagranemu głosowi szum wpływają negatywnie na dokładność estymacji.

1.2.2 Formanty

Częstotliwosć podstawowa powiązana jest w największej mierze z intonacją. Jednak w badaniach związanych z technologią przetwarzania mowy, wyznaczane z sygnału mowy sa również inne częstotliwosci, związane z rezonansem innych częsci traktu głosowego. Nie są one bezposrednio związane z intonacją, lecz wiedza na ich temat jest istotna dla każdych badań związanych z sygnałami mowy. Są to formanty. Pod tym pojęciem rozumiane sa skupiska energii akustycznej, zgromadzone wokół konkretnej częstotliwosci w sygnale mowy. [15] Istnieje kilka formantów, lecz zazwyczaj wyznaczane sa cztery - F1, F2, F3, F4. Każdy z nich występuje na innej częstotliwosci. W dużym przybliżeniu można stwierdzić, że F1 występuje w okolicach 500 Hz, a kolejne formanty są zlokalizowane na częstotliwosciach będących kolejnymi nieparzystymi wielokrotnosciami pierwszego formantu.

1.2.3 Przegląd metod estymacji

Prowadzone badania nad częstotliwością podstawową doprowadziły do wynalezienie wielu algorytmów estymacji o różnej skuteczności, zarówno w dziedzinie czasowej jak i widmowej. Jedną z najpopularniejszych metod czasowych jest algorytm YIN. Jest on zmodyfikowaną wersję funkcję autokoleracji. Algorytm został wzbogacony o parę kroków, mających na celu obniżenie stopy błędów. Został on użyty w implementancji programu będącego rezultatem tej pracy. YAAPT, którego rozwinięcie brzmi 'Yet Another Algorithm of Pitch Tracking' cechuje się również bardzo dobrymi wynikami estymacji. Jest to metoda hybrydowa, łącząca w sobie zalety i wady metod czasowych oraz widmowych.

1.2.4 Definicja algorytmu YIN

W podstawowej wersji bazuje na analizie funkcji autokorelacji w dziedzinie czasu. Jego autorami są Hideki Kawahara oraz Alain de Cheveigne, którzy zaprezentowali te podejście w 2002 roku. [16] Algorytm ten posiada kilka własności, dających mu przewagę nad konkurencyjnymi metodami. Nie posiada górnego limitu frekwencji, dla których działa poprawnie, dzięki czemu wyniki nie są zakłamywane dla wysokich głosów. Ta cecha jest również znacząca w użyciu algorytmu do analizy muzyki. Ważną własnością jest fakt, że algorytm ten jest relatywnie prosty, co pozwala na efektywną implementację, bez dużych opóźnień. Na jego prostotę istotnie wpływa niewielka liczba wymaganych parametrów.

1.3 Prozodia

Słowo prozodia pochodzi ze starożytnej Greki, w języku tym oznaczało piesń spiewaną przy akompaniamencie muzyki instrumentalnej. [5] Współcześnie, terminem tym nazywane są te własciwosci mowy, które nie mogą byc wyznaczone na podstawie wykrytych fonemów, a więc nie przenoszą informacji o wypowiedzianych słowach, lecz mogą wpływać na znaczenie całej wypowiedzi. Jako przykłady takich własciwosci może być postrzegane kontrolowane zmienianie wysokosci głosów, przeciąganie sylab lub celowane zmienianie głosnosci poszczególnych fragmentów wypowiedzi. Z fonetycznego punktu widzenia, mowa ludzka nie może charakteryzowana jedynie jako zbiór fonemów, sylab czy słów, przenoszących znaczenie semantyczne danej wypowiedzi. W normalnej mowie słyszymy, że niektóre sylaby są celowe wydłużane lub skracane, niektóre słowa są nacechowane większą siłą głosu oraz zauważamy zmieniającą się wysokosć głosu. Prozodyczne własciwosci mowy nie są odzwierciedlone w ortografii lub transkrypcji fonetycznej żadnego języka.

1.3.1 Intonacja

Intonacja jest zmianą tonu podstawowego, nie wpływającą na rozpoznawanie słów. Jest jedną z trzech głównych brzmieniowych właściwości mowy, obok akcentu i iloczasu. Najczęściej jest dodawana podczas wypowiedzi w celu oddania emocji. W wielu językach, w tym także w polskim, nadawanie wypowiedzi określonej intonacji może determinować jej typ. W pewnych sytuacjach modulacja intonacyjna może być jedyną informacją pozwalającą rozmówcy zrozumiec czy wypowiedź była twierdzeniem czy pytaniem. Przykład takiego zdania:
Musisz jutro wcześnie wstać.
Musisz jutro wcześnie wstać?
Jako, że taki szyk zarówno zdania jak i pytania jest całkowicie poprawny w języku pol-

skim, bez nadania wypowiedzi odpowiedniej intonacji odbiorca nie jest w stanie zrozumieć intencji osoby mówiącej.

1.3.2 Funkcje intonacji

Intonacja jest używana we wszystkich wokalnych językach, spełniając różne funkcje. Przedstawiona poniżej lista funkcji jest rezultatem badań nowozelandzkiego lingwisty Scotta Thornbury [6]

- Okazanie nastawienia
  Intonacja oddaje odczucia mówcy związane z wypowiadanym zdaniem. Zauważalne są spadki oraz wzrosty wartości F0, w zależności od okazywanych emocji:

  1. Spadek - asertywność, przedstawianie faktu
  2. Wzrost - wyrażanie uprzejmości
  3. Spadek-wzrost - okazywanie zwątpienia lub niepewności
  4. Wzrost-spadek -niecierpliwość lub sarkazm
  5. Brak zmian - neutralność lub brak zainteresowania

  Mimo, że zmiany w przebiegu intonacji związane z okazywanymi emocjami z całą pewnością istnieją, są trudne do jednoznacznego rozpoznania. Nawet dla ludzi posługujących się danym językiem od urodzenia, rozpoznanie emocji mówcy na podstawie zmian w intonacji w jednym zdaniu wyrwanym z kontekstu może być zadaniem niemożliwym do wykonanania. Zmiany te są subiektywne, ponieważ każdy wyraża emocje w indywidualny sposób. Przedstawiona powyżej lista pokazuje jedynie ogólne tendencje.

- funkcja gramatyczna
  Pod tą nazwą kryją się różnice między gramatycznymi typami wypowiedzi, a więc jest to funkcja będąca głównym obiektem badań w tej pracy. Zmiany w przebiegu intonacjin mogą wskazywać na dany typ wypowiedzi. Najbardziej znanymi tendencjami są gwałtowne wzrosty na końcu wypowiedzi, wskazujące na pytania, oraz spadkowa tendencja całej wypowiedzi wskazująca na zdanie twierdzące.

- funkcję dyskursu
  Ta funkcja oparta jest na analizie dłuższych fragmentów wypowiedzi, zamiast pojedyńczych zdań.Wysokość intonacji na końcu poszczególnych zdań pozwala ocenić, czy mówca zamierza kontynuować wypowiedź (wysokie wartości), czy też ją skończył (niskie wartości).

- podkreślenie(highlighting)
  Nadając wyższą intonację poszczególnym słowom, osoba mówiąca może uwydatnić ich znaczenie i skierować na nie uwagę odbiorcy.

1.4 Analiza dotychczasowych badan

Do tej pory przeprowadzono wiele badań analizujących każdą z funkcji intonacji. W tym podrozdziale zostaną opisane rezultaty badań nad funkcją gramatyczną intonacji. Najczęściej badane były różnice między zdaniami twierdzącymi, a pytaniami z intonacją rosnącą.

Martine Grice i Stefan Baumann [7] zajmowali się badaniem intonacji w języku niemieckim. Zauważyli wpływ intonacji na odróżnianie pytań od zdań, składających się z tych samych słów.W badanych przez z nich pytaniach nawiązujących upewnienie, wyraźnie zauważalny był silny wzrost wartości F0 na końcu wypowiedzi. Nie dotyczyło to jednak każdego rodzaju pytań. W pytaniach zawierających zaimek pytajny, nie zaobserwowali końcowego wzrostu intonacji. W literaturze anglojęzycznej takie pytania nazywane są 'Wh-questions', ponieważ zaczynają się najczęściej od When, Who, Where, itd. Jednak bazując na wynikach ich badań, można zauważyć, że ta zasada nie jest aplikowalna do każdego języka, w przeprowadzanych przez autorów badaniach nad pytaniami zadanymi w językach romańskich, zaobserwowano wzrost intonacji nie na samym końcu wypowiedzi, lecz moment przed, a po samym wzroście nastąpił spadek.

Daniel Hirst i Albert Dicristo [8] badając intonację dla wielu języków odnotowali powszechność tendencji wzrostowej wartości F0 w przebiegu intonacji dla pytań typu tak-nie. Nie zawsze tego pytanie musiało kończyc się wysokim skokiem wartości częstotliwości podstawowej. W niektórych językach (angielski, szwedzki, portugalijski, fiński, zachodnioarabski, węgierski, tajski), tendencja wzrostowa była zauważalna jedynie w części wypowiedzi. Jednak w przypadkach dwóch języków, wzrost taki nie występował. W języku duńskim oraz wietnamskim pytania tak-nie od zdań twierdzących odróżnia jedynie brak deklinacji wartości intonacji.

Kolejną cechą zaobserwowaną przez Hirsta i Dicristo był gwałtowany skok wartości F0 w końcowej części wypowiedzi. Jest to cecha uniwersalna dla prawie wszystkich języków, występująca przy tym rodzaju pytań. Wyjątek stanowią język duński, bułgarski, rosyjski, arabski, fiński, oraz brazylijska odmiana języka portugalskiego.

Kolejnym badanym rodzajem wypowiedzi były pytania dopełnienia (WH-questions). Zauważono, że w wielu językach (angielski, hiszpański, rumuński, rosyjski, grecki) przebieg intonacji występującej przy wypowiadaniu tego rodzaju pytań dużo bardziej przypomina przebieg intonacji zdania twierdzącego niż pytań rozstrzygnięcia.

Najobszerniejsze badania nad funkcją gramatyczną intonacji zostały przeprowadzone dla języka hiszpańskiego przez Pilar Prieto i Paolo Roseano [9] W swoich badaniach zaobserwowali cechy charakterystyczne intonacji nie tylko dla głównych rodzajów wypowiedzi, lecz dokonali również rozróżnienia kilku rodzajów zdań twierdzących oraz pytań. Kryterium była przekazywana przez mówcę treść oraz intencje.
Zdania twierdzące zostały podzielone w następujący sposób:

- Całe zdanie jest nową informacją dla słuchającego. Zdanie jest odpowiedzią na bardzo ogólne pytanie

  (1) Co się potem stało?
  Wszyscy poszli na dwór.

- Tylko część zdania jest nową informacją dla słuchającego. Jest to odpowiedź na sprecyzowane pytanie

  (2) Kto z nim tam poszedł?
  Jego **brat** z nim poszedł.

- Osoba mówiąca jest przekonana, że przekazywana przez nią informacja jest oczywista i słuchacz już ją zna

- Osoba mówiąca nie jest przekonana co do wypowiadanego zdania.

  (3) Kupiłeś juz jej prezent?
  Tak, ale nie wiem czy się spodoba.

  Ogólna tendencja intonacji dla każdego z tych rodzajów zdań jest opadająca.

Pytania

- Pytania dopełnienia zawierające zaimek pytajny. Intonacja opadająca

  (4) Jak tu przyjechałeś?

- Pytania rozstrzygnięcia. Pytający zadaje sprecyzowane pytanie z intencją uzyskania precyzyjnej informacji. Intonacja rosnąca.

  (5) Dzisiaj wracasz do domu?

- Pytania oczekujące potwierdzenia. Pytający nie spodziewa się uzyskania nowej dla niego informacji, a jedynie potwierdzenia wypowiadanych słów. Intonacja rosnąca

  (6) Też tak myślisz, co nie?

- Pytania powtarzające. Osoba mówiąca powtarza w formie pytania usłyszaną przed chwilą informację. Powodem może być niedowierzanie lub niepewność zrozumienia informacji. Intonacja rosnąca.

  (7) Wyjeżdzam jutro do Krakowa.
  Wyjeżdżasz do Krakowa?

Przyklady podane do każdej z kategorii mają na celu pokazać, że taki podział może istnieć również w języku polskim. Niemniej jednak ich intonacja może znacznie sie różnić od zdań wypowiedzianych w języku hiszpańskim, który był obiektem badań. Rezultaty badań dla zdań rozkazujących pokazały duże podobieństwo konturów do dwóch pierwszych kategorii zdań twierdzących. Nie zostały zaobserwowane wyraźne róznice.
Podsumowując, łatwo zauważyć, że wiele badań zostało już przeprowadzonych, głównie w celu rozróżniania poszczególnych rodzajów pytań i zdań twierdzących. Brakuje jednak takich badań dla zdań rozkazujących.

2 Implementacja detekcji konturów częstotliwości podstawowej

2.1 Język programowania oraz środowisko

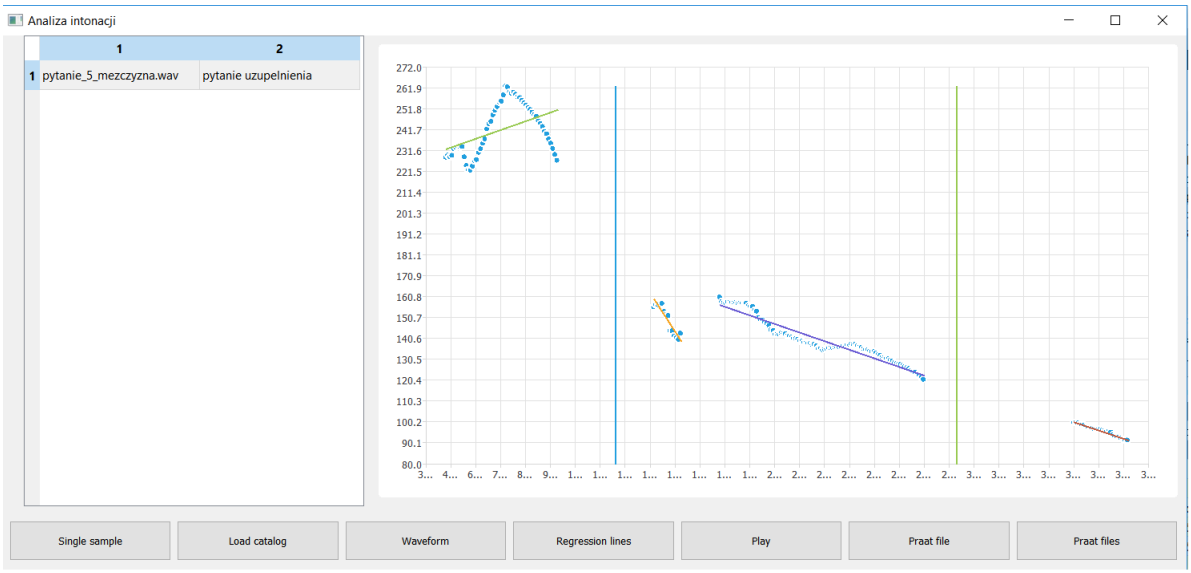
Pierwszym rozważanym zagadnieniem był wybór języka programowania oraz środowiska. Należało wziąć pod uwagę zawartość bibliotek związanych z przetwarzeniem dźwięku, oferowanych przez poszczególne języki. Mimo rozpatrywania możlwości wielu języków, główny wybór zawarty był między Javą oraz C++. Dla obu języków dostępna jest mnogość gotowych funkcji wspierających pracę z dźwiękiem. Jako, że projekt zakładał stworzenie graficznego interfejsu użytkownika, konieczny był również wybór odpowiedniego środowiska, umożliwiającego stworzenie takiej aplikacji. Dla języka Java jako środowisko spełniające takie wymagania postrzegany był Eclipse wraz z frameworkiem JavaFx. Nie posiadają one wbudowanych pomocy do pracy z próbkami dźwięku, lecz dla Javy stworzone zostało Java Sound API. API te zawiera podstawowe funkcjonalności, jest pomocne przy wczytywaniu plików wav. W celu korzystania z tego rozszerzenia, należy je po prostu zaimportować. Dla C++ sytuacja wygląda zgoła inaczej. Pracując z tym językiem, można korzystać z możliwości obszernego frameworka - Qt. Oferuje on wiele węwnetrznych klas ułatwiających pracę z dźwiękiem. Działają one niskopoziomowo, wszelkie zadania wykonywane są dużo szybciej niż w przypadku Javy. System sygnałów i slotów, charakterystyczny dla Qt, jest bardzo wygodny przy wczytywaniu kolejnych próbek dźwieków. Umożliwia to aktualizowanie wykresów przedstawiających odczytane lub obliczone wartości na bieżąco. Dodatkowo, tworzenie graficznego interfejsu użytkownika w tym środowisku jest bardziej intuincyjne. Biorąc pod uwagę argumenty, wybór padł na język C++ z wykorzystaniem frameworka Qt.

2.2 Opis możliwości aplikacji

W pierwotnym założeniu aplikacja miała umożliwiać nagrywanie wypowiedzi, która następnie miała zostać poddana rozpoznaniu. Jednak w trakcie implentacji nie sposób było nie zauważyć, że znacznie lepsze wyniki rozpoznania są uzyskiwane, gdy do programu zostanie wczytana wypowiedź nagrana zewnętrznym programem, oraz poddana w nim obróbce wstępnej. Spowodowało to porzucenie tej funkcjonalności, jako że nie jest ona konieczna do osiągnięcia zakładanego celu, jakim jest poprawne rozpoznawanie rodzaju wypowiedzi.

Aplikacja umożliwa wczytanie pojedynczego nagrania lub całego katalogu z nagraniami. Program wyświetla nazwę wczytanego pliku, oraz rodzaj zdania do jakiego dana wypowiedź została sklasyfikowana. Po kliknięciu w tabeli na wybrany wiersz, a następ-

nie po kliknięciu na jeden z dowolnych przycisków w dolnym pasku, program wyświetli na wykresie odpowiednio przebieg wartości próbki w dziedzinie czasu (waveform) lub przebieg wyestymowanej częstotliwości podstawowej. Aplikacja umożliwia też wczytanie plików tekstowych wygenerowanych w programie PRAAT.



Rysunek 2: Graficzny wygląd aplikacji

2.3 Wczytanie próbki

Pierwszym krokiem na drodze do rozpoznania rodzaju zdania, jest wczytanie calego nagrania przez program. Wykonuje sie to z wykorzystaniem mozliwosci oferowanych przez Qt. Framework oferuje do tego klase QAudioDecoder. Nagranie jest wczytywane w 100 milisekundowych fragmentach. Jako że częstotliwość próbkowania wynosi 44100Hz, na jeden fragment przypada 4410 wartości. Każda część jest odczytana jako obiekt klasy QAudioBuffer. Wektor typu QAudioBuffer zawiera cale wczytane nagranie.

Listing 1: Połączenie sygnałów niosących informacje o starcie lub zakończeniu wczytywania nagrania, ze slotami

```
std::vector<QAudioBuffer>audioBuffers;
QAudioDecoder *audioDecoder;

audioDecoder = new QAudioDecoder();
connect(audioDecoder, SIGNAL(bufferReady()), this,
                              SLOT(readBuffer()));
connect(audioDecoder,SIGNAL(finished()),this,
                              SLOT(decodingFinished()));
audioDecoder->start();
```

Po wczytaniu kazdej z ramek emitowany jest sygnał. Łącząc sygnał ze slotem, możliwe jest przechwycenie aktualnie wczytanych wartości, zanim zostaną zastąpione wartościami kolejnej ramki. Zostają one dodane do wektora ramek.

Listing 2: Funkcja przechwytująca wczytany fragment

```
void MainWindow::readBuffer()
{
    audioBuffers.emplace_back(audioDecoder->read());
}
```

Gdy całe nagranie zostanie odczytane, QAudioDecoder emituje sygnał finished(). Po jego przechwyceniu, a więc otrzymaniu informacji o zakończeniu dekodowania, program umieszcza w jednym wektorze próbki ze wszystkich 100 milisekundowych buforów.

Listing 3: Funkcja dodająca do wektora wszystkie odczytane próbki

```
void MainWindow::putValuesIntoVector()
{
    sampleRate = audioBuffers[0].format().sampleRate();
    frameSize = audioBuffers[0].format().sampleRate()/40;

    for (QAudioBuffer audioBuffer : audioBuffers)
    {
        const qint16 *data = audioBuffer.constData<qint16>();
        for(int j=0;j<audioBuffer.sampleCount();j++)
        {
            wholeBuffer.emplace_back(data[j]);
        }
        delete data;
    }
}
```

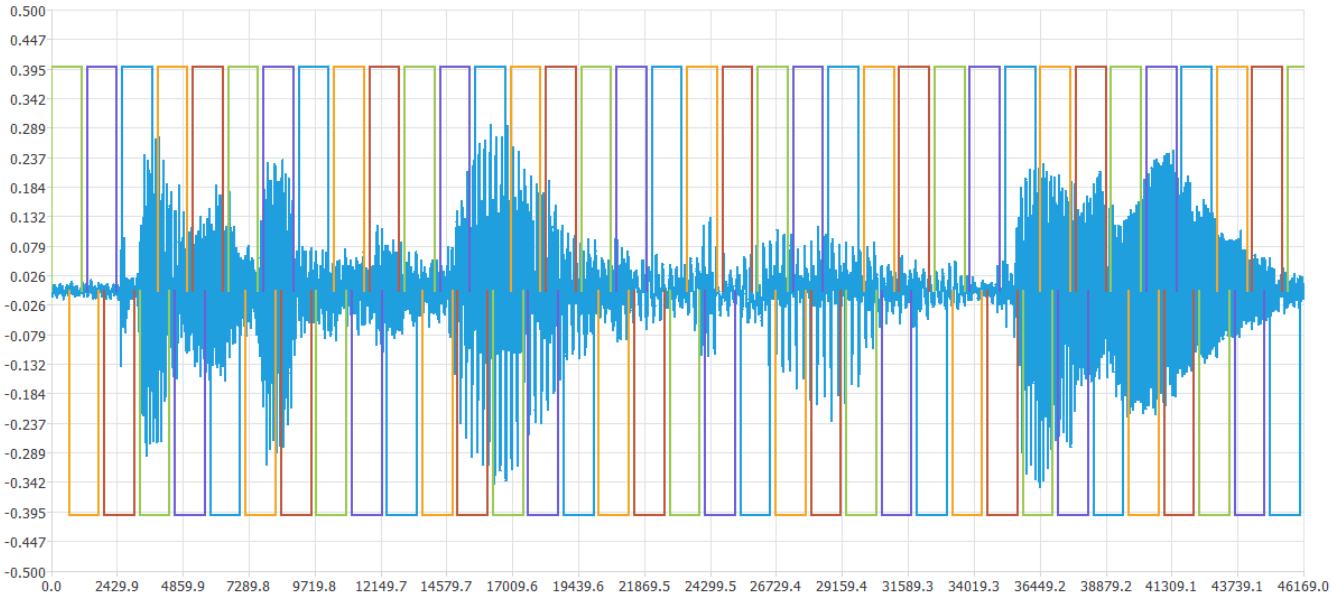
W powyższej funkcji, najpierw pobierana jest ilość próbek przypadających na jedną sekundę, oraz na 25 milisekundową ramkę. Następnie wartości kolejno z każdego obiektu typu QAudioBuffer, znajdującego się w wektorze audioBuffers, są dodawane do wektora wholeBuffer. Jest to wektor przechowujący zmienne zmiennoprzecinkowe, o podwójnej precyzji, tj.double.

2.4 Ekstrakcja tonu podstawowego

W pierwotnym założeniu program, poza estymacją częstotliwości podstawowej miał również dokonywać ekstrakcji niskopoziomowych cech. W toku implementacji zostały one jednak pominięte, z powodu posiadania małego wpływu na cel pracy. Pierwszym zagadnieniem, które było rozważone, jest długość fragmentów sygnału, na które powinien być podzielony. Sygnały mowy nie są sygnalami stacjonarnymi, co oznacza, że ich częstotliwość istotnie zmienia się w czasie, znacznie obniżając dokładność obliczeń, opierających się na rezultatach transformaty Fouriera. W przetwarzaniu mowy korzystne jest dzielenie sygnału na części, celem uzyskania fragmentów sygnału bliskich byciu stacjonarnymi. Głośnia, odpowiedzialna za zmiany częstotliwości głosu, nie zamyka i nie otwiera się natychmiastowo, co oznacza, że w małych odstępach czasu wartości częstotliwości są do siebie zbliżone. Odpowiednio dzieląc sygnał możliwe jest uzyskanie krótszych quasi-stacjonarnych fragmentów. Proces ten nazywa się ramkowaniem.

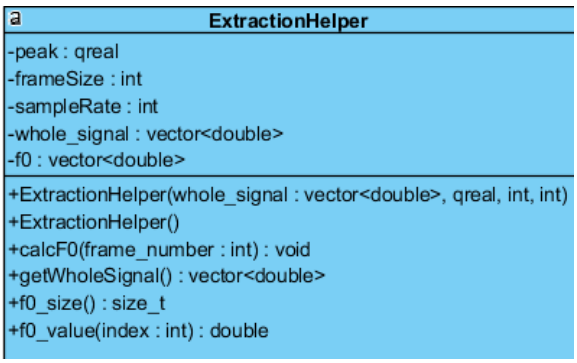
2.4.1 Ramkowanie oraz ekstracja wartości F0

Sygnał najczęśniej dzielony jest na 20-50ms ramki. W tym projekcie ustalona długość ramki wynosi 25ms. Oznacza to, że każda ramka składa się z 1102 wartości. Pojawia się jednak problem związany z wartościami brzegowymi. Dzieląc sygnał na przystające do siebie, lecz nie zachodzące na siebie ramki istnieje duże ryzyko nie wykrycia pewnych cech, które mogą znajdować się pomiędzy dwoma kolejnymi ramkami. Taka sytuacja mogłaby wystąpić podczas analizy sygnału w celu wykrycia konturów częstotliwości podstawowej. Jeżeli relatywnie krótki kontur zaczynałby się w jednej ramce i kończył w drugiej, mógłby nie zostać wykryty. Rozwiązaniem jest nakładanie ramek na siebie (overlapping).Określona część każdej ramki, zawarta jest również w ramce kolejnej. Najczęściej jest to 20-50% segmentu.



Rysunek 3: Zobrazowany podział sygnału na ramki wraz zastosowaniem 30-procentowego overlappingu. Opracowanie własne

Do ekstrakcji cech niskopoziomowych 30 procentowe nakładanie się ramek jest wystarczające. Jednak algorytm YIN, wykorzystany w projekcie do estymacji F0, wymaga znacznie większego zachodzenia fragmentów na siebie. W tym przypadku 90% danej ramki znajduje się również w ramce kolejnej. Oznacza to, że ramki przesuwane są jedynie o 2,5ms. Spowodowane jest to faktem, że algorytm YIN opiera swoje działanie na funkcji autokorelacji. Do ekstrakcji cech stworzona została klasa ExtractionHelper.



Rysunek 4: Klasa stworzona w celu ekstracji F0 oraz przechowywania tych wartości

Listing 4: Przedstawienie sposobu dokonywania podziału na ramki, wraz z zastosowaniem overlappingu

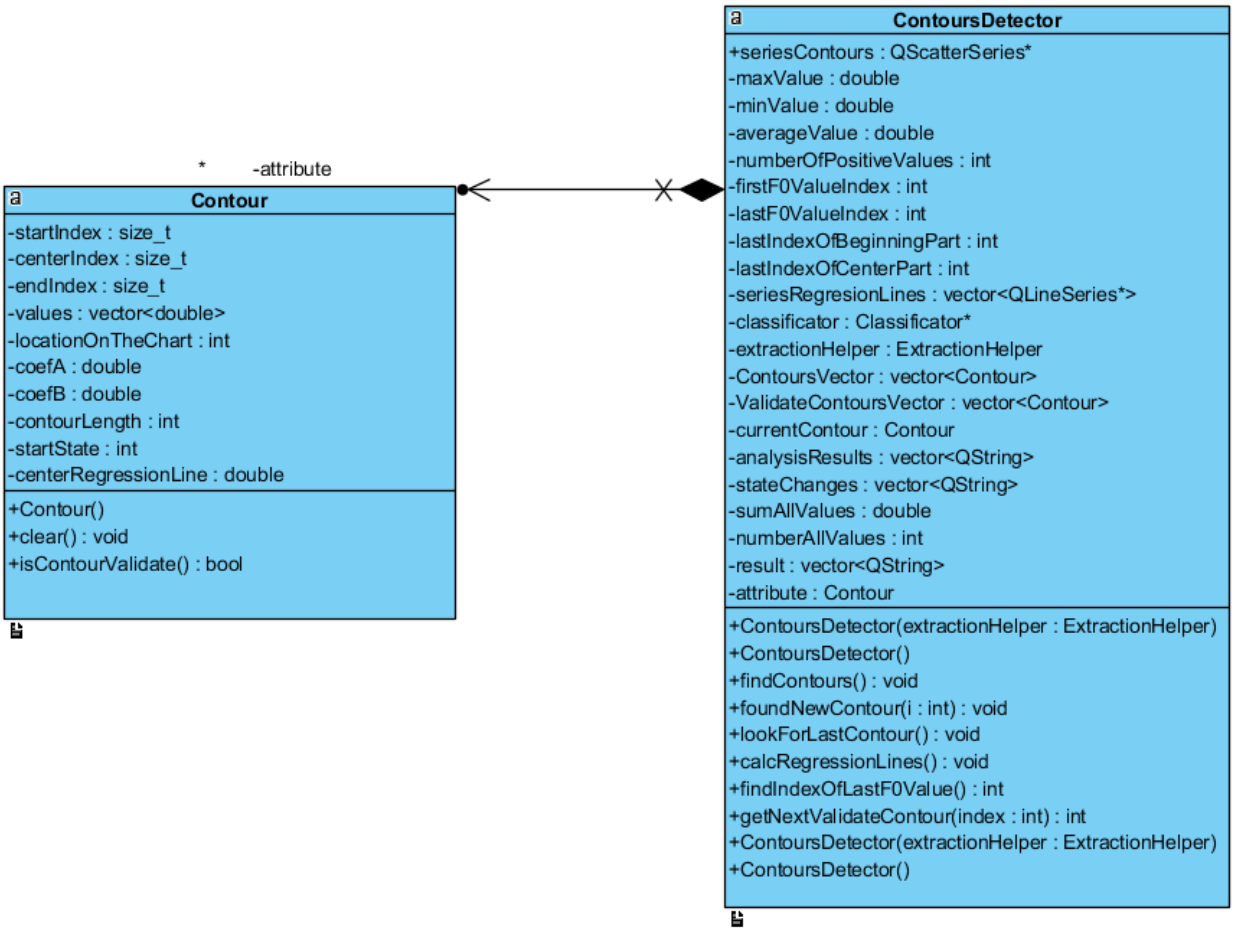
```
void ExtractionHelper::calcF0(int numberOfFrames)
{
    int numberOfShifts=10;
    Yin m_yin(frameSize, sampleRate);
    int frameStartIndexAfterShifting = 0;
    int shift= frameSize/numberOfShifts;

    while(frameStartIndexAfterShifting < (whole_signal.size()))
    {
        double *shifted_frame =new double [frameSize];
        int index=0;
        frameStartIndexAfterShifting +=shift;
        for(int k=frameStartIndexAfterShifting;
                k<frameStartIndexAfterShifting+frameSize;k++)
        {
            if(k>=whole_signal.size())
                shifted_frame[index] = 0;
            else
                shifted_frame[index] = whole_signal.at(k);
            index++;
        }
        Yin::YinOutput f0_struct=m_yin.process(shifted_frame);
        if (f0_struct.f0 <F0_MAX && f0_struct.f0 >F0_MIN)
            f0.emplace_back(f0_struct.f0);
        else
            f0.emplace_back(0);
        delete shifted_frame;
    }

}
```

W funkcji wykorzystywana jest klasa Yin, pochodząca z ogólnodostępnej implementacji algorytmu YIN. Konstruktor obiektu tej klasy jako argumenty przyjmuje długość pojedynczej ramki oraz częstotliwośc próbkowania. W tym przypadku wartości te wynoszą kolejno 1102 i 44100. W ciele funkcji calcF0 obiekt ten będzie wykorzystywany do

estymacji konturów F0 dla pojedynczych ramek. Z racji zastosowania wysokiego overlappingu, proces dzielenia sygnału na fragmenty nie wygląda jak typowe ramkowanie. Okno sygnału przeznaczone do estymacji będzie przesuwane jedynie o 2,5ms. W tym celu zadeklarowane zostały dwie zmienne, frameStartIndexAfterShifting przechowuje początkowy indeks obecnie przetwarzanej ramki, a zmienna shift przechowuje wartość pojedynczego przesunięcia. Warunkiem kończącym działanie głównej pętli funkcji jest przekroczenie przez początkowy indeks ramki rozmiaru całego sygnału. Oznacza to, że końcowa ramka może być dowolnie mała. W wewnętrznej pętli wartości rozpatrywanej ramki są przypisywane do dynamicznie zadeklarowanej tablicy. Jeżeli indeks tej pętli przekroczy rozmiar całego sygnału, reszta pól tablicy wypełniona jest zerami. Powodem tego jest wymaganie implementacji algorytmu YIN, aby wszystkie ramki miały jednakowy rozmiar. Po zakończeniu estymacji wartości F0 dla danej ramki, wartość ta jest dodawana do wektoru jeżeli mieści się w zdefiniowanym zakresie. Musi być większa niż 60 i mniejsza niż 450. W przeciwnym razie do wektoru zostanie dodana wartość zerowa. Po obliczeniach zadeklarowana dla ramki pamięć zostaje zwolniona.

2.5 Wykrywanie poszczególnych segmentów

Wszystkie wyestymowane wartości częstotliwości podstawowej na tą chwilę przechowywane są w jednym wektorze. Aby umożliwić analizę przebiegu intonacji, konieczne jest wydzielenie poszczególnych segmentów. Segmentacji można dokonać analizując wartości pod kątem wartości odstających. Do tego celu zostały stworzone dwie klasy.



Rysunek 5: Klasy stworzone do wykrycia poszczególnych segmentów intonacyjnych, na podstawie wszystkich wartości F0

Dla każdej ze zmiennych istnieją funkcje typu get i set, odpowiednio zwracające wartość zmiennej oraz przypisujące dana wartość. Zostały one pominięte w celu zwiększenia czytelności diagramów. Główna funkcjonalność zawarta jest w funkcji findContours() w klasie ContoursDetector. Wykryte kontury będą umieszczane jako obiekty typu Contour, w wektorze contoursVector. W wektorze tym będą również umieszczane fragmenty z wartościami zerowymi, dla których nie wykryto występowania intonacji. Będą one pomijane w dalszej analizie, dodawane są w celu ułatwienia przejrzystego wyświetlania konturów na wykresie, w miejscu w którym rzeczywiście się znajdują.

Listing 5: Początkowa faza funkcji wykrywającej segmenty

```
#define TRANSITION 15

void ContoursDetector::findContours()
{
    currentContour.setStart(1);
    lastValueIndex = findIndexOfLastF0Value();
    for(size_t i=1;i<extractionHelper.f0_size();i++)
    {
        double value =extractionHelper.f0_value(i);
        double previousValue = extractionHelper.f0_value(i-1);
        seriesContours->append(i,value);
        if (value > maxValue) maxValue = value;
        if (value < minValue && value > F0_MIN) minValue = value;
        if(std::abs(value - previousValue) > TRANSITION)
        {
            currentContour.setEnd(i-1);
            currentContour.setCenter();
            foundNewContour();
            currentContour.setStart(i);
            currentContour.addValue(value);
        }
        else
        {
            currentContour.addValue(value);
        }
    }
```

Początkowy indeks pierwszego segmentu jest ustawiony jako 1. Główna pętla przebiega po wszystkich wyestymowanych wartościach tonu podstawowego. Oprócz poszukiwania segmentów, wartości są również sprawdzane pod kątem wykrycia wartości maksymalnej i minimalnej. Funkcja uznaje wykrywanie danegosegmentu za zakończone, gdy aktualnie rozpatrywana wartość rózni się od poprzedniej o 15 jednostek. Metodą obserwacji ustalono taki przeskok za wystarczający do stwierdzenia, że dana wartość należy już do nowego segmentu. Poprzedzający indeks jest uznawany za koniec danego segmentu. Aktualny licznik pętli zostaje przekazany do funkcji foundNewContour. Z uwagi na obszerność tej

funkcji, będzie ona omawiana fragmentami.

2.5.1 Analiza wstępna wykrytego fragmentu

Listing 6: Funkcja zajmująca się analizą wstępną wykrytego segmentu

```
void ContoursDetector::foundNewContour()
{
    if (!currentContour.isContourValidate())
    {
        currentContour.clear();
        return;
    }

    if (lastIndexOfFirstPart == 0)
    {
        firstValueIndex = currentContour.getStartIndex();
        double occurenceRange = lastValueIndex-firstValueIndex;
        lastIndexOfFirstPart = currentContour.getStartIndex()
                                              +occurenceRange/4;
        lastIndexOfCenterPart = lastValueIndex - occurenceRange/4;
    }
```

Najpierw segment jest poddawany walidacji. Sprawdzane jest, czy nie występują w nim wartości zerowe oraz czy jego długość jest większa niż 1. Przyjęta implementacja segmentacji traktuje wartości zerowe jako przerwy między fragmentami i nie powinny one być dodawane do wektoru przechowującego wykryte segmenty. Do określania czy dany obiekt jest przerwą między segmentami, wystarczy sprawdzić jego pierwszą wartość. Metodą obserwacji zauważono, że te składające się tylko z jednej wartości, często są błędami estymacji, lub powstają w wyniku róznego rodzaju zanieczyszczeń w nagraniu. Mogą zaburzać wyniki późniejszej klasyfikacji, dlatego są pomijane.

Listing 7: Funkcja dokonująca walidacji segmentu

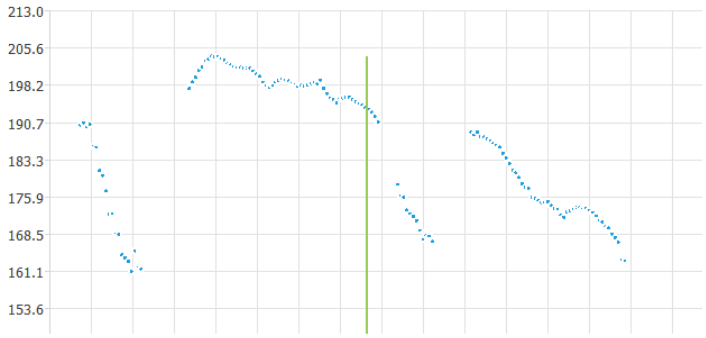
```
    bool isContourValidate()
    {
        if (values.size()<2) return false;
        if (values.at(0) == 0)  return false;
        return true;
    }
```

Późniejsza analiza segmentów w celu wykrycia rodzaju danego zdania, oparta jest w dużej mierze na położeniu danego fragmentu w przestrzeni przebiegu całej intonacji. Przebieg intonacji zawiera wartości od pierwszego poprawnego segmentu do ostatniego. Wykres jest dzielony na 3 części. Na część początkową oraz końcową przypada po 25% całości, podczas gdy część środkowa zawiera pozostałą połowę. W celu przydzielenia segmentom odpowiedniej lokalizacji, używane są zmienne typu całkowitego, lastIndexOfFirstPart oraz lastIndexOfCenterPart. Wyznaczają one końce początkowej oraz środkowej części.

Listing 8: Dalsza część funkcji foundNewContour

```
 if (ContoursVector.size()>0)
{
    if ((currentContour.getFirstValue()
            -ContoursVector.back().getLastValue())
            >(currentContour.getFirstValue()/6))
    {
        currentContour.setStartState(GROWTH);
    }
    else if ((ContoursVector.back().getLastValue()
            - currentContour.getFirstValue())
             >(ContoursVector.back().getLastValue()/4))
    {
        currentContour.setStartState(DROP);
    }
}
ContoursVector.push_back(currentContour);
currentContour.clear();
}
```

W dalszej części kodu funkcji foundNewContour, dokonywana jest analiza położenia danego konturu względem poprzednika. Jeżeli początkowa wartość analizowanego konturu jest znacząco mniejsza lub większa od ostatniej wartości konturu poprzedzającego, zapisywana jest informacja o gwałtownym przeskoku w przebiegu intonacji.



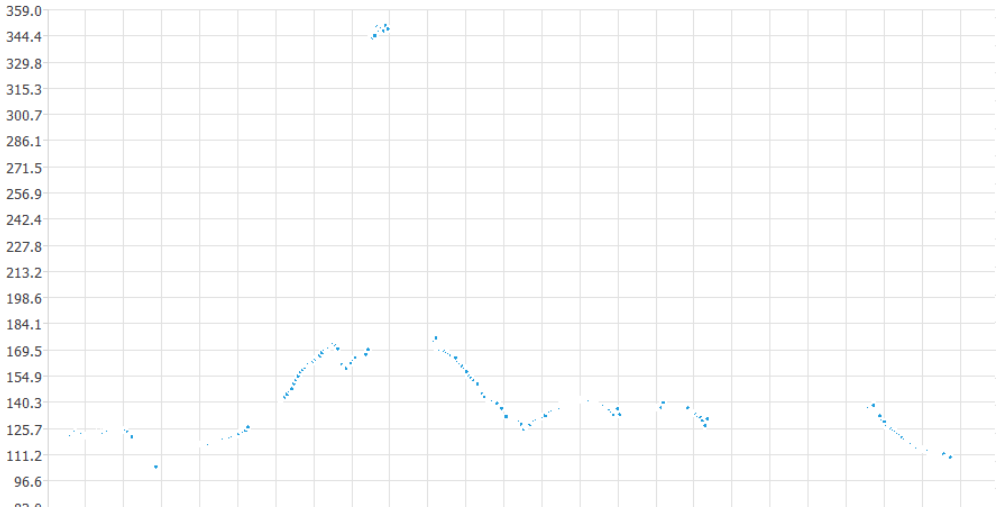
Rysunek 6: Przykładowy przeskok(wzrost) między pierwszym i drugim konturem, zlokalizowanymi w początkowej części

Następnie kontur zostaje dodany do wektoru, zmienna currentContour zostaje wyczyszczona w celu poszukiwania kolejnego konturu. Na tym funkcja foundNewContour kończy swoje działanie.

Listing 9: Dalsza część głównej funkcji findContours

```
    double averageWithoutCurrentContour;
    for(int i = 0;i<ContoursVector.size();)
    {
        averageWithoutCurrentContour = sumAllValues -
        ContoursVector.at(i).getCenterOfRegressionLine();
        averageWithoutCurrentContour /= (ContoursVector.size()-1);
        if((ContoursVector.at(i).getCenterValue()
                > (averageWithoutCurrentContour*1.6))
                && (ContoursVector.at(i).getContourLength()<10))
        {
            ContoursVector.erase(ContoursVector.begin()+i);
        }
        else
        {
            setContourLocation(i);
            i++;
        }
    }
    calcRegressionLines();
}
```

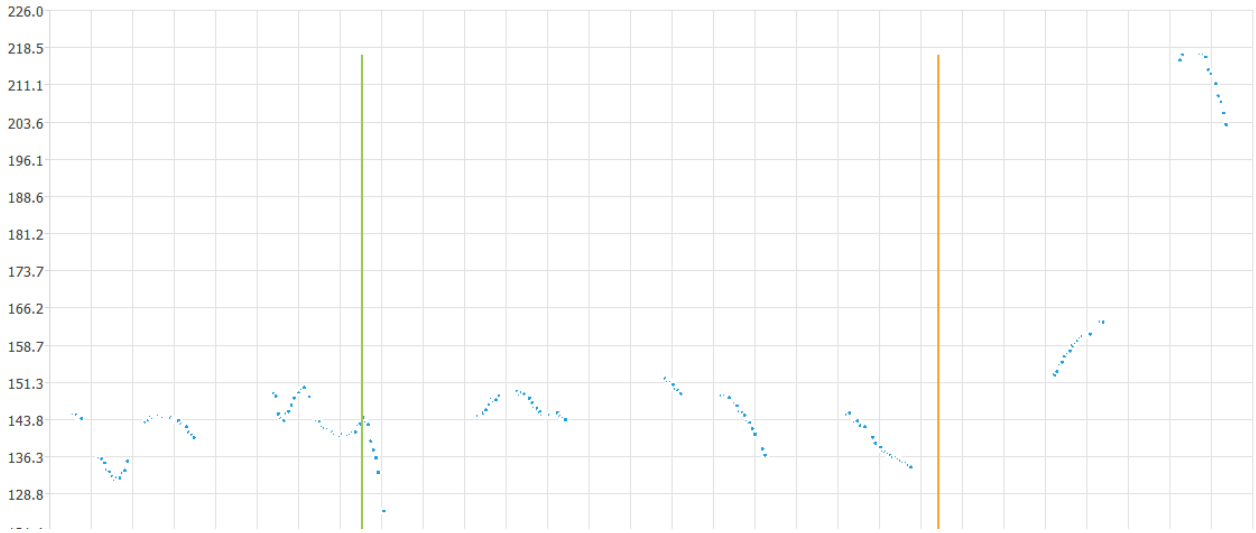
W czasie implementacji wykrywania konturów oraz przy późniejszej analizie, zauważano występowanie krótkich, wyraźnie odstających fragmentów. Pojawiały się w miejscach, w których nie było logicznego uzasadnienia ich występowania. Miały wyraźny wpływ na zaburzenia procesu wykrywania rodzaju zdania. Podjęto decyzję o usuwaniu ze zbioru takie segmenty, których wartości są bardzo wyraźnie większe od średniej oraz jednocześnie są bardzo krótkie. Pierwotnie zostało to zaimplemetowane w celach testowych, lecz okazało się, że zabieg ten znacząco poprawia stopień poprawnego rozpoznawania.



Rysunek 7: Przykład usuniętego segmentu.

Na rysunku 14 przedstawiony został przykład usuniętego segmentu. Jest to segment, którego wartości oscylują około 345 jednostek. Jest to liczba ponad dwukrotnie większa od innych, do tego fragment ten jest bardzo krótki. Słuchając nagrania, nie sposób było uzasadnić jego występowanie w tym miejscu, dlatego został uznany za błąd estymacji i usunięty ze zbioru. Jeżeli warunek usunięcia segmentu nie jest spełniony, wywoływana jest funkcja określająca jego położenie w przebiegu intonacji. Jak zostało już wspomniane, przebieg intonacji jest podzielony na 3 części. W zależności od położenia środka segmentu, zostaje mu przypisane odpowiednie makro, zawierające informację o jego lokalizacji.

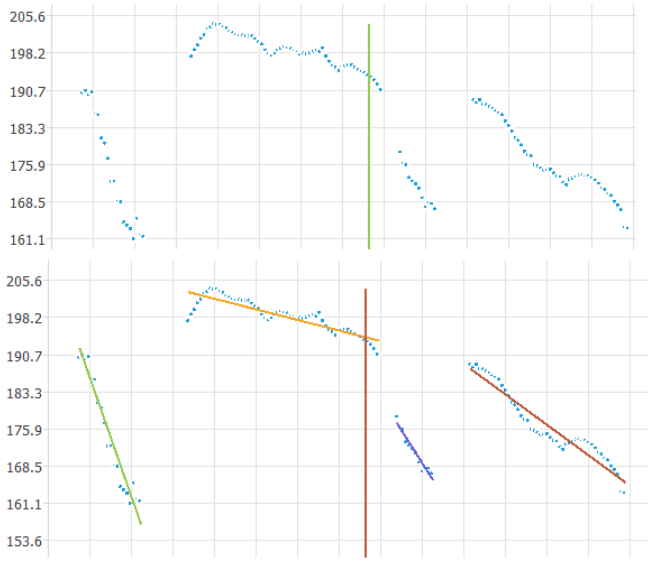
```
void ContoursDetector::setContourLocation(int i)
{
    if (ContoursVector.at(i).getCenter() < lastIndexOfFirstPart)
        ContoursVector.at(i).setLocation(BEGINNING);
    else if (ContoursVector.at(i).getCenter() < lastIndexOfCenterPart)
        ContoursVector.at(i).setLocation(CENTER);
    else
        ContoursVector.at(i).setLocation(END);
}
```



Rysunek 8: Przykład podziału przebiegu intonacji na 3 części

2.5.2 Współczynniki regresji liniowej

Dla każdego wykrytego segmentu obliczane są współczynniki regresji liniowej. W tym celu została zaimplementowana metoda najmniejszych kwadratów. Kod tej funkcji nie został umieszczony w pracy, z uwagi na jego obszerność oraz fakt, ze jest to implementacja gotowego wzoru. Wewnątrz funkcji, każdemu fragmentowi zostają przypisane wartości obliczonych współczynników A i B oraz obiekt typu QLineSeries. Obiekt ten, bazując na obliczonych współczynnikach, służy do zobrazowania na wykresie przebiegu linii regresji dla danego segmentu.



Rysunek 9: Fragment przebiegu intonacji przed i po nałożeniu linii regresji

2.6 Wczytywanie wartości uzyskanych za pomocą programu PRAAT

PRAAT umożliwia ekstrakcję wartości całego przebiegu intonacji do pliku tekstowego, w następującej formie:

```
Time_s    F0_Hz
0.050828    --undefined--
0.060828    --undefined--
0.070828    --undefined--
0.080828    --undefined--
0.090828    --undefined--
0.100828    230.627376
0.110828    223.764249
0.120828    225.470779
0.130828    229.259109
```

Wartości estymowane są co 10 milisekund. Brak wykrytej wartości w danym momencie, oznaczany jest przez PRAATa jako ”–undefined–”.

Listing 10: Funkcja wczytująca do programu wartości F0 z pliku tekstowego

```
void MainWindow::processPraatFile(QString filepath)
{
    praatFilesNumber++;
    QFile file(filepath);
    if(!file.open(QIODevice::ReadOnly)) {
        QMessageBox::information(0, "error", file.errorString());
    }

    QTextStream in(&file);
    std::vector<double> f0;
    while(!in.atEnd()) {
        QString line = in.readLine();
        std::string stringLine = line.toStdString().substr(11,line.size());
         line = QString::fromStdString(stringLine);
        double value;
        if(line.at(0) == '-')
            value = 0.0;
        else
            value = line.toDouble();
        f0.emplace_back(value);
```

```
        }

    file.close();
    ExtractionHelper exHelper;
    exHelper.setF0(f0);
    ContoursDetector contoursDetector(exHelper);
    contoursDetector.findContours();
    contoursDetector.classification();
}
```

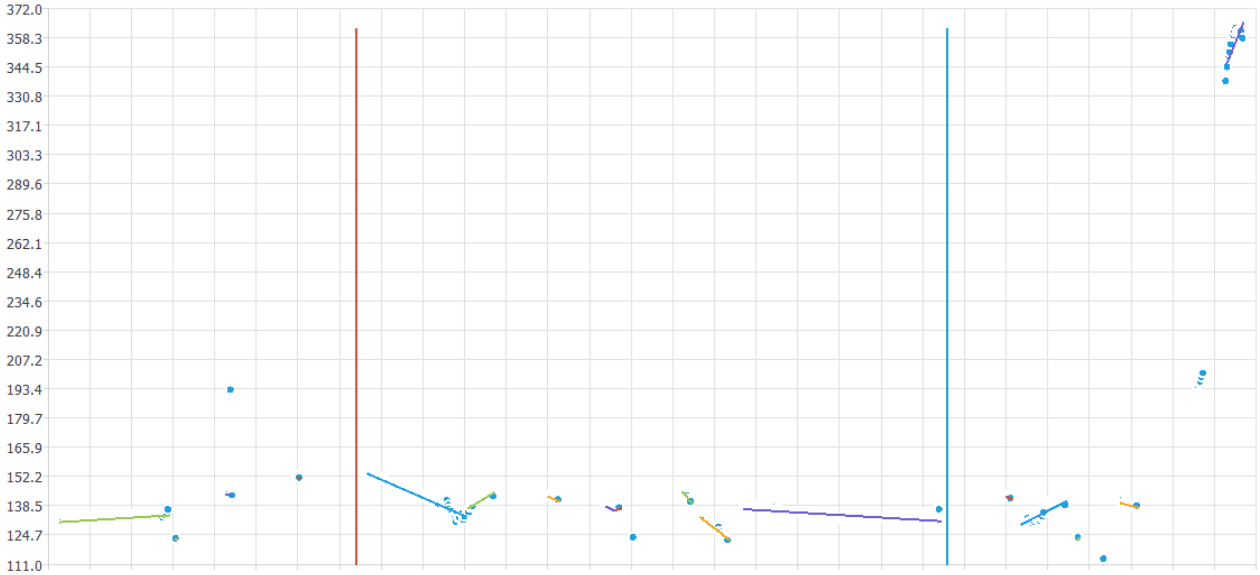
Zadaniem przedstawionej funkcji jest wczytanie do programu wartości częstotliwości podstawowej uzyskanych za pomocą PRAATa, przechowywanych w pliku tekstowym. Funkcja najpierw sprawdza czy dany plik istnieje i czy da się go otworzyć. Następnie wczytywane są kolejno wszystkie linie tego pliku. Z wczytanej linii uzyskiwany jest podzbiór znaków, jako, że wartości F0 zaczynają się w 11 kolumnie każdej z linii. Jak zostało już wspomniane, pauzy w przebiegu intonacji oznaczone są jako ”–undefined–”, więc pierwszy znak tego podzbioru porównywany jest ze znakiem ”-”. Jeżeli porównanie zwróci wartość prawdziwą, do wektoru przechowującego wczytane wartości, wczytane zostanie zero. W przeciwnym razie wczytany podzbiór jest konwertowany do wartości typu zmiennoprzecinkowego o podwójnej precyzji, a nastepnie dodany do wektoru. Gdy wszystkie wartości zostaną wczytane, plik jest zamykany, a wektor wczytanych wartości poddawany jest segmentacji oraz analizie.

3 Analiza wykrytych segmentów

Po zakończeniu implementacji segmentacji konturów oraz obliczania współczynników regresji liniowej, kolejnym etapem pracy była analiza wykrytych segmentów. Celem tej analizy było wykrycie wszelkiego rodzaju cech, które powtarzałyby się w zdaniach tego samego typu, a więc mogły by być użyteczne w procesie klasyfikacji zdań. Analizowane były takie właściwosci przebiegu intonacji jak:
-gwałtowne wzrosty/spadki częstotliwosci podstawowej w całym przebiegu
-ogólna tendencja zmian konturu
-ilosc oraz długosć poszczególnych segmentów
Szybko została zauważona istotna właściwosć konturów. Dla niektórych zdań wartosci F0 były bardzo wysokie na początku nagrania, dla innych z kolei gwałtowny wzrost nastąpywał na samym końcu. By ułatwić wykrywanie położenia tych zmian, przebiegi intonacji zostały podzielone na 3 częsci, co zostało opisane w poprzednim rozdziale.

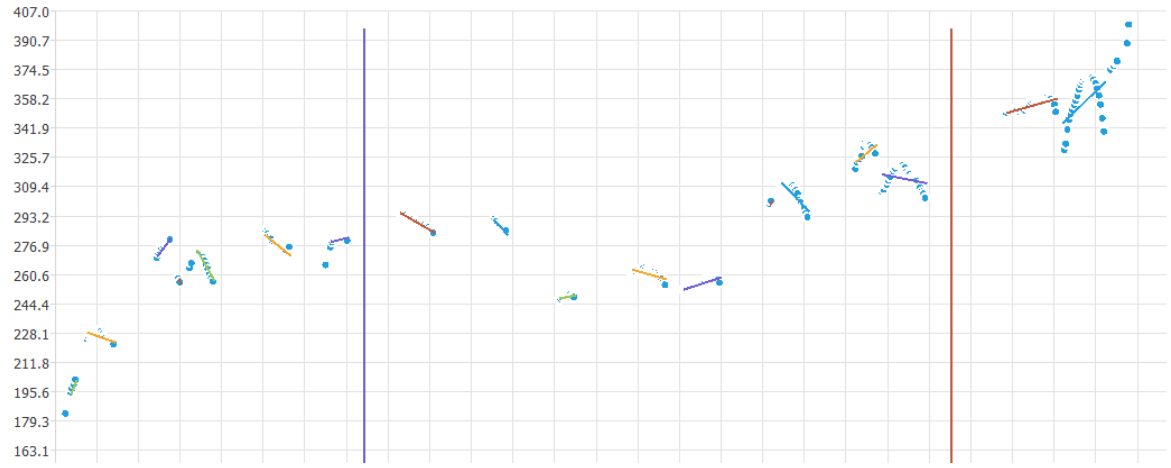
3.1 Pytania rozstrzygnięcia

Najłatwiejszym zadanie okazało się rozróżnianie pytań rozstrzygnięcia. Ten rodzaj wypowiedzi cechuje się silną antykadencją zlokalizowaną w końcowej częsci zdania.



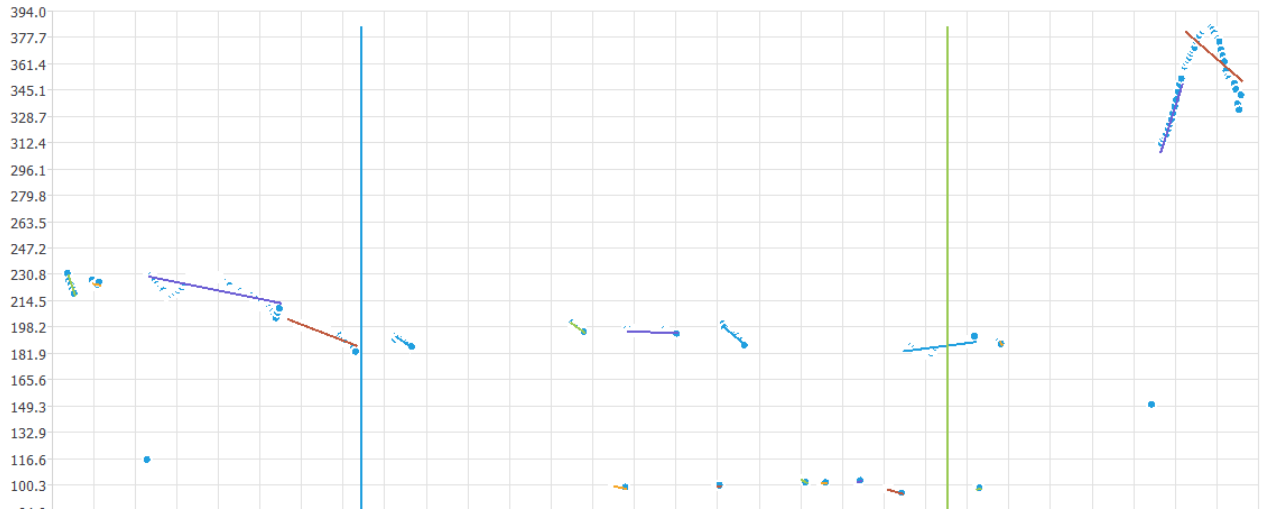
Rysunek 10: Pytanie rozstrzygnięcia zadane przez mężczyznę

Pytanie przedstawione na rysunku 10 brzmi 'Faktycznie jest gdzies w Tobie taka pasja?'. Jest ono wypowiedziane przez mężczyznę. Nie ma w tej wypowiedzi żadnego słowa, które wyraźnie wskazywałoby na to, że jest to pytanie, a nie stwierdzenie. Jednak, dzięki nadaniu wypowiedzi odpowiedniej intonacji, możliwe jest rozpoznanie jej jako pytanie - zarówno przez program, jak i przez człowieka. W przedstawionym przykładzie, wzrost intonacji na końcu nagrania jest bardzo wyraźny, znacznie przekracza zakres typowych częstotliwosci F0 uzyskiwanych w głosie męskim. Dla pytań rozstrzygnięcia dosć charakterystyczne jest to, że ogólna tendencja intonacji wcale nie musi być rosnąca, zazwyczaj ten wzrost następuje gwałtowanie, dla jednego lub kilku końcowych segmentów. W danym przykładzie, przed wystąpieniem akcentu intonacyjnego w ostatnim słowie, intonacja utrzymywała się na stałym poziomie. Nie może jednak być to uznane za regułę, co udowodni kolejny przykład.



Rysunek 11: Pytanie rozstrzygnięcia z nacechowaniem emocjonalnym , wypowiedziane przez mężczyznę

Pytanie, którego intonacja została przedstawiona na rysunku 11, brzmi ”Może o to, że jest to rażąco niesprawiedliwe?” Zostało wypowiedziane przez mężczyzne. Nosi ono również znamiona pytania retorycznego. W tej wypowiedzi nie ma gwałtowanego wzrostu intonacji na samym końcu nagrania, zamiast tego intonacja zauważalnie rosnie w trakcie całej wypowiedzi. Mimo, że jest to nagranie głosu męskiego, wyestymowane wartosci F0 znacznie wykraczają poza zakres typowy dla mężczyzn. Spowodowane jest to dużym zabarwieniem emocjalnym wypowiedzi.

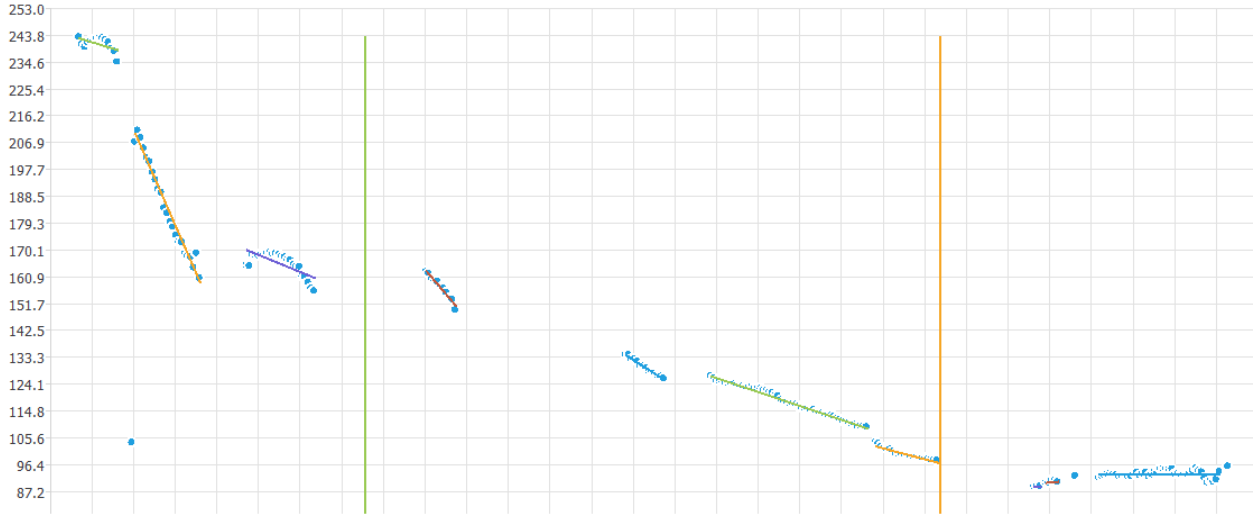


Rysunek 12: Pytanie rozstrzygnięcia zadane przez kobietę

Ostatnie z przedstawionych pytań rozstrzygnięcia zostało wypowiedziane przez kobietę. Brzmi ono ”A czy Tobie marzy się kariera zagraniczna?”. Przebieg intonacji jest zbliżony do przykładu przedstawionego na rysunku 10, tutaj również tendencja intonacji nie jest rosnąca, lecz następuje silny skok intonacji na końcu wypowiedzi.

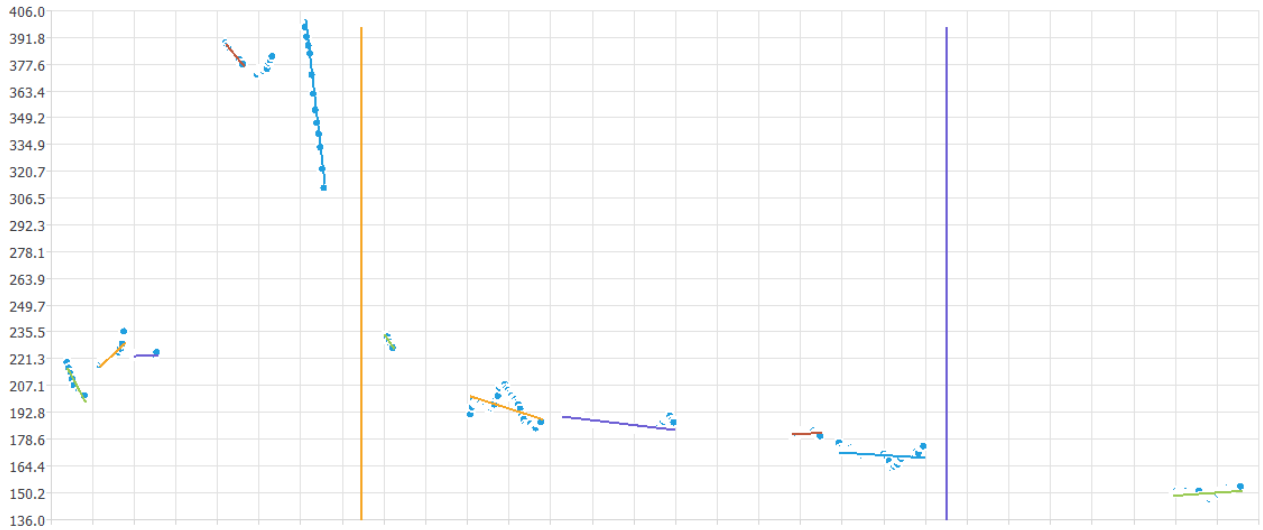
3.2 Pytania dopełnienia

Intonacja nadawana pytaniom dopełnienia całkowicie różni się od opisanej dla pytań rozstrzygnięcia. W tym przypadku zaobserwowany został brak jakiekolwiek wzrostu intonacji w końcowej częsci wypowiedzi, oraz cały przebieg intonacji jest najczęsciej opadający. Tresc tych wypowiedzi jawnie wskazuje, że jest to pytanie, ponieważ na ich początku zawarty jest zaimek pytajny. Przykłady takich zaimków to "kto, dlaczego, który, czemu, jak, co". Charakterystyczny dla tego rodzaju pytań jest wysoko zaintonowany początek wypowiedzi, po którym następuje znaczny spadek estymowanych wartosci.



Rysunek 13: Pytanie dopełnienia zadane przez mężczyznę

Pytanie, którego intonacja została przedstawiona na rysunku 13, zostało wypowiedziane przez mężczyznę. Jego tresć to "Jak zostać marynarzem?". Na pierwszy rzut oka zauważalny jest pierwszy segment, którego wartosci górują nad resztą wykresu. W wypowiedzianym pytaniu, duży nacisk intonacyjny został nałożony na zaimek pytajny, po czym nastąpił znaczny spadek wartosci F0. Cała intonacja jest wyraźnie opadająca. Jako, że zaimek występujący w tym zdaniu składa sie jedynie z trzech liter, odpowiadający mu segment również jest krótki. Istotne jest również to, że wartosci segmentów położonych w centralnej oraz końcowej częsci przebiegu intonacji są mniejsze aż o 80-140Hz w porównaniu do segmentu położonego najwyżej.

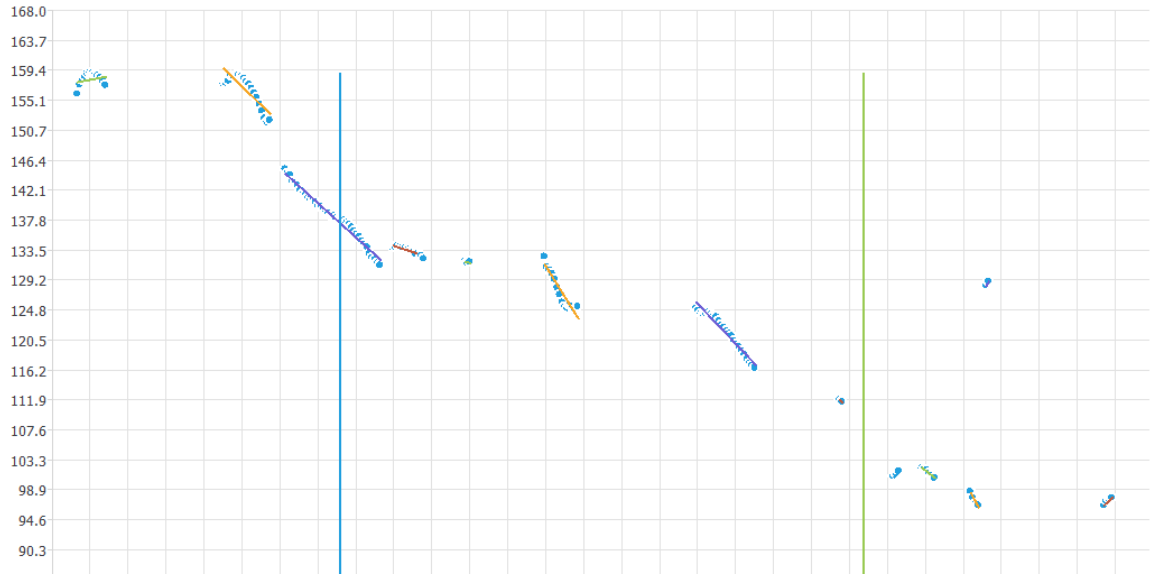


Rysunek 14: Pytanie dopełnienia zadane przez kobietę

Na rysunku 14 przedstawiony został przebieg intonacji pytania wypowiedzianego przez kobietę, którego tresć brzmi ”Dlaczego zdecydowałas się wyjechać do Stanów?” Ponownie, największe wartosci intonacji zostały zaobserwowane w pierwszym słowie, a konkretnie w jego drugiej oraz trzeciej sylabie. Również w tym przypadku, różnica między wartosciami najwyżej zlokalizowanego segmentu, a tymi położonymi w dalszych częsciach wykresu, jest znacząca.

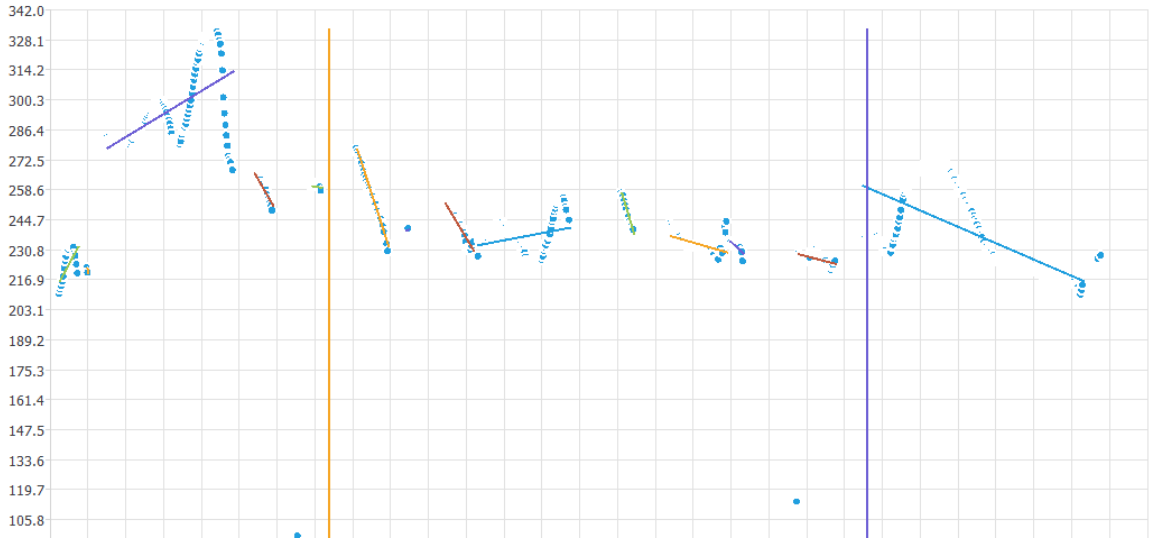
3.3 Zdania twierdzące

Badając nagrania zawierającę ten typ wypowiedzi, zaobserwowany został opadający lub stały przebieg intonacji. W niektórych przypadkach występował również wzrost intonacji w początkowej części wypowiedzi, po którym następował delikatny spadek. Charakterystyczny dla tego rodzaju zdań był brak gwałtownych spadków wartosci F0 między kolejnymi segmentami. W przypadku opadającego przebieg intonacji, spadek wartosci ma łagodny charakter.



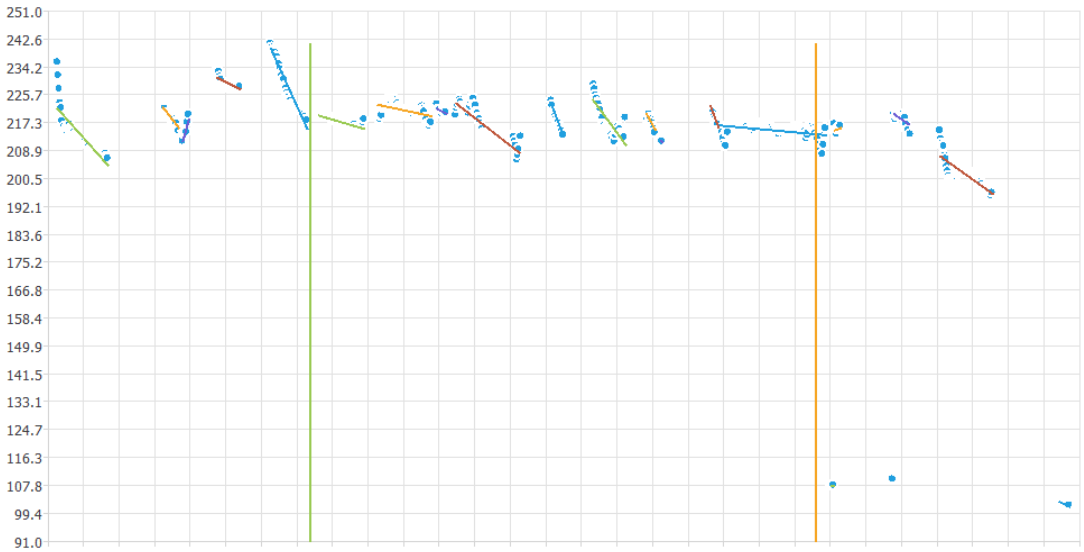
Rysunek 15: Zdanie twierdzące wypowiedziane przez mężczyznę

Zdanie przedstawione na rysunku 15 zostało wypowiedziane przez mężczyznę, a jego tresć brzmi ”W zeszłym roku ten las wycięto”. Największe wartosci intonacji zostały zauważone dla słów ”W zeszłym” lecz spadek wartosci dla segmentów odpowiadających kolejnym słowom jest dosć łagodny. Dopiero ostatnie słowo ma wyraźnie niższą intonację. Główną cechą zdań twierdzących pozwalających rozróżnić ten rodzaj wypowiedzi od pytań dopełnienia jest niewielka różnica między wartosciami najwyższego segmentu, a otoczającymi segmentami. W przypadku pytań dopełnienia ta różnica potrafiła wynosić nawet 100Hz i znacznie wykraczać poza typowy zakres częstotliwosci. Ten przebieg intonacji jest wręcz idealnym przykładem zdania twierdzacego, wartosci każdego segmentu są mniejszego od segmentu poprzedniego, przy tym nie wystepuja gwałtownego spadki między nimi oraz wszystkie segmenty są opadające.



Rysunek 16: Zdanie twierdzące wypowiedziane przez kobietę

Kolejny przykład zdania twierdzącego, przedstawiony na rysunku 16, został wypowiedziany przez kobietę, a jego tresć brzmi ”Coraz wiecej takich przypadków wychodzi na swiatło dzienne”. Między pierwszym, a drugim słowem nastąpił wzrost intonacji, osiągającej swoje apogeum w drugim słowie, następnie odnotowany został delikatny spadek wartosci, między ostatnią wartoscią tego segmentu, a pierwszą kolejnego. Po tym spadku reszta intonacji utrzymywała stałą tendencję, wartosci pozostałych segmentów oscylowały między 230-250Hz. Ponownie, nie zauważono gwałtownego spadku lub znacznego górowania najwyżej położonego segmentu nad resztą segmentów.



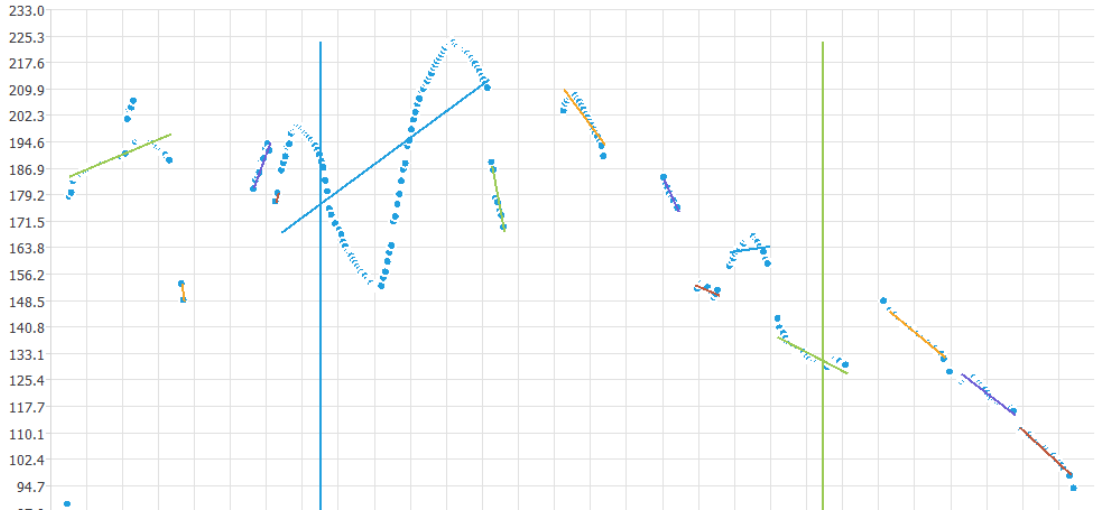
Rysunek 17: Zdanie twierdzące wypowiedziane przez kobietę

Przykład przedstawiony na rysunku 17, przedstawia przebieg intonacji zdania twierdzącego, wypowiedzianego przez kobietę, którego tresć brzmi ”Więc to też naraża ich na

niebezpieczeństwo". Przebieg intonacji ma wyraźnie stałą tendencję. Najwyżej położony segment również znajduje się w poczatkowej częsci wypowiedzi, lecz nie sposób tutaj mówić o znaczącej różnicy. Stała tendencja przebiegu intonacji jest jedną z cech wyraźnie wskazujących, że dana wypowiedź jest zdaniem twierdzącym.

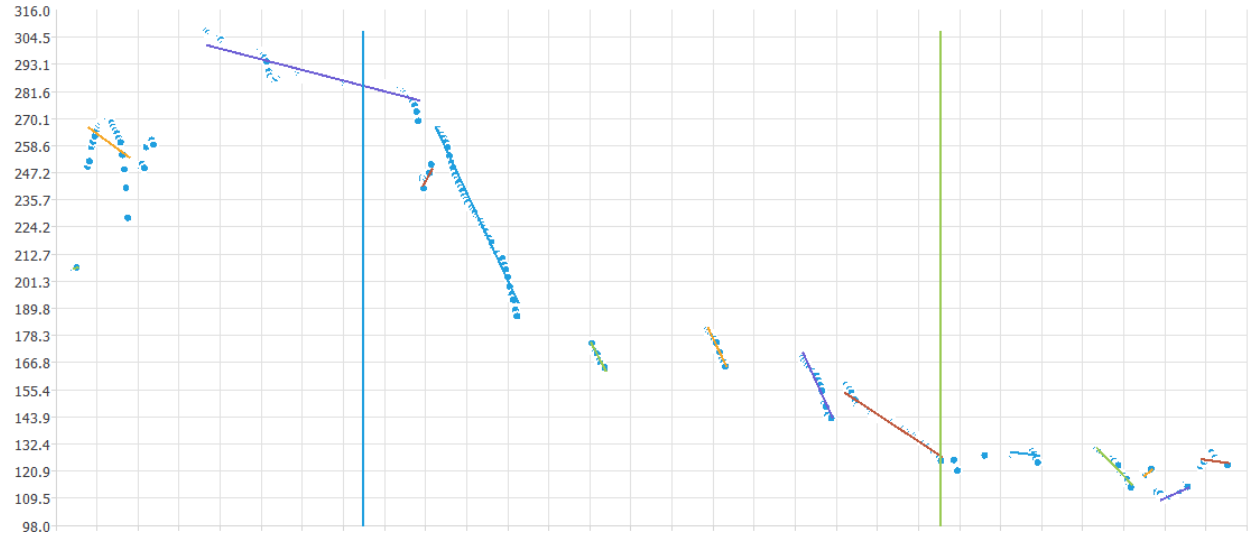
3.4 Zdania rozkazujące

Dla zdań twierdzących oraz pytań dopełnienia charakterystyczna jest obecnosć krótkich segmentów o wysokich wartosciach zlokalizowanych na początku przebiegu intonacji. W przypadku pytań rozstrzygnięcia, taki charakterystyczny segment obecny był na końcu wypowiedzi. W zdaniach nakazujących komus wykonanie jakiej czynnosci, kładziony jest silny akcent na czasownik. W skutek tego, najczęsciej segmenty o największych wartosciach F0 zlokalizowane są w centralnej częsci przebiegu intonacji, lub zaczynają się w początkowej częsci, kończąc w srodkowej. Z racji nałożonego na nie akcentu, dosć często są najdłuższymi segmentami w danej wypowiedzi. W tym przypadku funkcja gramatyczna intonacji przeplata się z funkcją podkreślającą znaczenie danego słowa.



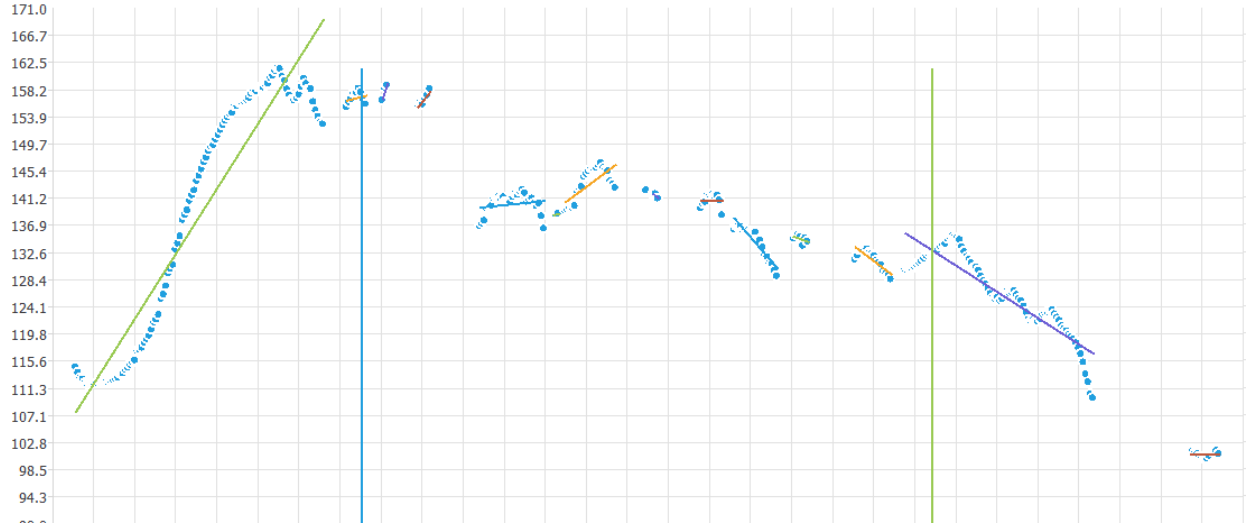
Rysunek 18: Zdanie rozkazujące wypowiedziane przez mężczyznę

Zdanie przedstawione na rysunku 18 zostało wypowiedziane przez mężczyznę, a jego treść brzmi "Nie próbujcie tego w domu". Wyraźny akcent w tej wypowiedzi jest położony na drugie słowo, sylaby w czasowniku są wręcz przeciagnięte, a więc wykorzystany został również iloczas. Na skutek tego omawiany segment poza największymi wartościami, odznacza się również długością. Jest położony w większości w centralnej części przebiegu intonacji. Kolejną zauważalną cechą jest jego gwaltowny wzrost, zakończony krótkim spadkiem.



Rysunek 19: Zdanie rozkazujące wypowiedziane przez kobietę

Zdanie przedstawione na rysunku 19 zostało wypowiedziane przez kobietę, a jego treść brzmi ”Wyciągnij ręce z kieszeni”. Akcent intonacyjny ponownie nałożony jest na czasownik w trybie rozkazującym, lecz tym razem jedynie na jego drugą oraz trzecią sylabę. Po pierwszej zauważalna jest krótka pauza. W tym przypadku najistotniejszy segment jest opadający, co pokazuje, że nie zawsze jest rosnący jak w poprzednim przykładzie i nie może być ta właściwość traktowana jako powszechna cecha.



Rysunek 20: Zdanie rozkazujące wypowiedziane przez mężczyznę

Zdanie przedstawione na rysunku 20 zostało wypowiedziane przez mężczyznę, brzmi ”Wyłącz w końcu ten telewizor”. W tym przypadku segment zawierający największe wartości w całości zlokalizowany jest w początkowej części przebiegu. Jako, że jego wartości nie są znacząco większe od wartości segmentów zlokalizowanych w części centralnej, wypowiedź ta mogłaby zostać sklasyfikowana jako zdanie twierdzące. Decydująca w przy-

padku tej wypowiedzi była długość najistotniejszego segmentu oraz zakres jego wartości. Proporcjonalnie do całego konturu, są one znacznie większe niż odpowiedniki zaobserwowane podczas analizy zdań twierdzących.

4 Porównanie wyników otrzymanych z wykorzystaniem YIN i Praata

5 Wnioski

Uzyskane rezultaty można rozpatrywać dwustopniowo. Program uzyskuje zadowalającą skuteczność w rozpoznawaniu obu rodzajów pytań. Zaobserwowane zmiany w intonacji towarzyszącej pytaniom są wystarczające dla poprawnego rozpoznania w zdecydowanej większości przypadków. Potwierdza to dotychczasowe badania wykonane w tym zakresie.

Poprawność klasyfikacji proponowaną metodą znacznie spada gdy rozróżnianiu poddawane są zdania twierdzące oraz rozkazujące. Oba rodzaje wypowiedzi mogą cechować się intonacją opadającą oraz niewielkimi róznicami między kolejnymi segmentami. Brak wyraźnych różnic między tymi rodzajami sprawia, że zadanie klasyfikacji jest utrudnione. Niemniej jednak, zaobserwowano kilka cech odróżniających je od siebie. Efekty jednak nie są tak skuteczne jak w przypadku pytań.

W celu kontynuacji badań, jako pierwszy krok należałoby rozważyć zwiększenie bazych nagrań zdań rozkazujących, aby zwiększyć ilość cech mogących odróżniać je od zdań twierdzących.

Literatura

[1] Terapia mowy [Online] [Dostęp 05.02.2019] http://terapiamowy.com/index.php/niedowlad-krtani/

[2] Three parts of speech [Online] [Dostęp 10.02.2019] https://uiowa.edu/voice-academy/three-parts-speech

[3] Fernando Trujillo,The Production of Speech Sounds, English Phonetics and Phonology

[4] Zhaoyan Zhang, Mechanics of human voice production and control [Online] [Dostęp 01.03.2019] https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5412481/

[5] The prosody of speech: Melody and rythm, Sieb Nooteboom, 1997, Utrecht University

[6] Thornbury, Scott.: (2006). An A-Z of ELT. Oxford: Macmillan Publishers, Ltd.

[7] Martine Grice and Stefan Baumann, An introduction to intonation-functions and models, Ifl Phonetik and Universität Köln(2007)

[8] Daniel Hirst Albert François di Cristo, A survey of intonation systems, 1998

[9] Prieto, P., and Roseano, P. (2018). Prosody: Stress, Rhythm, and Intonation. In K. Geeslin (Ed.), The Cambridge Handbook of Spanish Linguistics (Cambridge Handbooks in Language and Linguistics, pp. 211-236)

[10] Definition of phoneme, https://www.britannica.com/topic/phoneme, [Online][Dostęp 10.03.2019]

[11] Bogusław Dunaj: Dwa dyskusyjne problemy polskiej fonologii. W: Prace językoznawcze 19. Studia polonistyczne. Alina Kowalska, Aleksander Wilkoń (red.). Katowice: Uniwersytet Śląski, 1991, s. 40–46, seria: Prace Naukowe Uniwersytetu Śląskiego w Katowicach.

[12] Hollien, H., and Ship, T. (1972) “Speaking fundamental frequency and chronological age in males,” J. Speech Hear. Res. 15, 155–159

[13] Pegoraro-Krook, M. 1. (1988). “Speaking fundamental frequency characteristics of normal Swedish subjects obtained by glottal frequency analysis,” Folia Phoniatrica 40, 82–90

[14] Gilbert, H.R., and Weismer, G.G. (1974). “The effects of smoking on the speaking fundamental frequency of adult women,” J. Psycholing. Res. 3, 225–231.

[15] What is Formant? https://ec-concord.ied.edu.hk/phonetics_and_phonology/wordpress/learning_ [Online][Dostęp 10.04.2019]

[16] Kawahara H., de Cheveigne A. YIN, a fundamental frequency estimator for speech and music, 2002