الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الجزائر 2 (أبو القاسم سعد الله)

كلية اللغة العربية وآدابها واللغات الشرقية قسم: علوم اللسان

الاستكشاف الآلي لمُصوتات اللغة العربية الفصحى باستعمال الخوارزميات الوراثية

Reconnaissance Automatique des Voyelles de l'Arabe Standard par les Algorithmes Génétiques

رسالة مقدمة لنيل شهادة الماجستير في علوم اللسان التبليغ اللغوي

تخصص: العلاج الآلي للغة

إعداد الطالب:
مرزوق كمال

بإشراف الأستاذ الدكتور:
عيسيو محمد

السنة الجامعية: 2021/2020

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة الجزائر 2 (أبو القاسم سعد الله)

كلية اللغة العربية وآدابها واللغات الشرقية قسم: علوم اللسان

الاستكشاف الآلي لمُصوتات اللغة العربية الفصحى باستعمال الخوارزميات الوراثية

Reconnaissance Automatique des Voyelles de l'Arabe Standard par les Algorithmes Génétiques

رسالة مقدمة لنيل شهادة الماجستير في علوم اللسان التبليغ اللغوي
تخصص: العلاج الآلي للغة

إعداد الطالب: بإشراف الأستاذ الدكتور:
مرزوق كمال عيسيو محمد

لجنة المناقشة:

1. أستاذ التعليم العالي: غريبي عارف ..... رئيسا
2. أستاذ التعليم العالي: عيسيو محمد ..... مقررا ومشرفا
3. أستاذة التعليم العالي: فرات كمال..... عضوا مناقشا

السنة الجامعية: 2021/2020

إهداء

الحمد لله الذي وفقنا لهذا ولم نكن لنصل اليه لولا فضل الله علينا أما بعد:

أهدي هذا العمل المتواضع راجياً من المولى عز وجل أن تجد القبول والنجاح

إلى والديا الغاليين حفظهما الله

إلى جميع أخوتي وأخواتي

إلى زوجتي وبناتي لهال وإيناس وابني عبد الله

إلى جميع زملائي في الدراسة

إلى جميع أصدقائي وزملائي في العمل

إلى الأستاذ محمد عيسيو صاحب الفضل الكبير في اتمام هذا العمل

إلى كل من ساعدني في إتمام هذا العمل سواء من قريب أو من بعيد

إلى كل من أضاء بعلمه عقل غيره

أو هدى بالجواب الصحيح حيرة سائليه

فأظهر بسماحته تواضع العلماء

وبرحابته سماحة العارفين

شكر وعرفان

أتوجه بالشكر إلى من رعاني طالبا في مساري الدراسي للماجستير، ومعدا هذا البحث أستاذي ومشرفي الفاضل الأستاذ الدكتور: محمد عيسيو، الذي له الفضل الكبير – بعد الله تعالى– على إتمام هذا المشروع مذ كان الموضوع عنوانا وفكرة إلى أن صار رسالة وبحثا . والذي لم يدخر أي جهد لمساعدتي، فله مني الشكر كله والتقدير والعرفان.

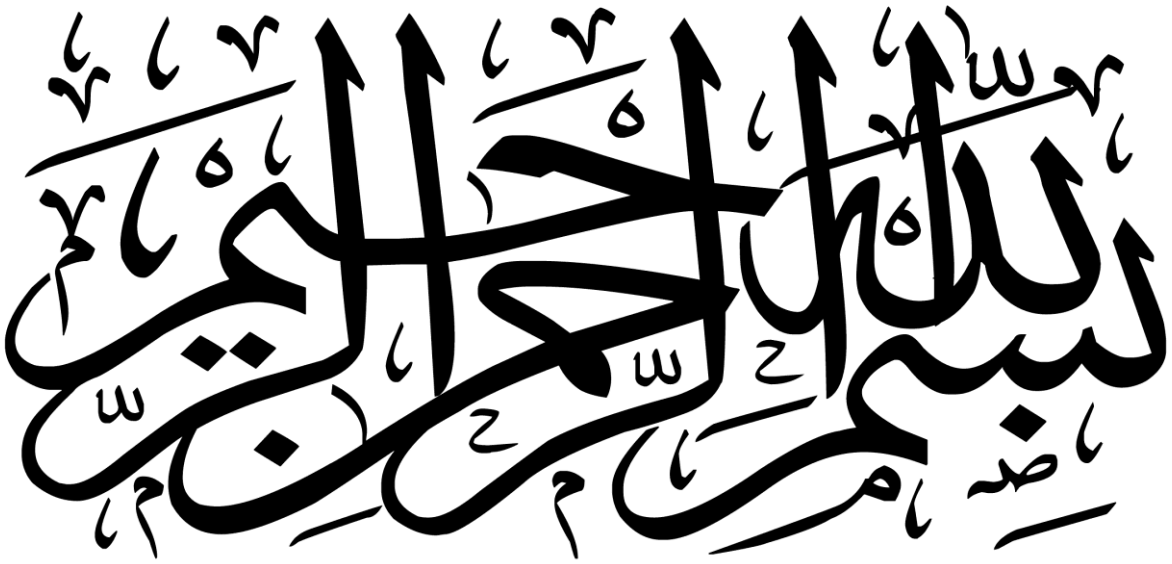
وأتوجه بالشكر الجزيل إلى جميع أساتذتي الفضلاء في قسم علوم اللسان بكلية اللغة العربية وآدابها واللغات الشرقية بجامعة الجزائر 2 الذين لم يألوا جهدا في تنويرنا وتوجيهنا على مر السنة الجامعية.

وأرى أن أقف شاكرا لأستاذي الفذ الدكتور عبد الرحمان حاج صالح رحمه الله الذي تشرفت بالدراسة عنده.

ويوجب علي الاعتراف بالفضل أن أشكر الأساتذة الفضلاء في جامعة الجزائر 2 رئاسة وعمادة بحث علمي وإدارة، و أخص بالذكر أساتذة وموظفي قسم علوم اللسان كلية اللغة العربية وآدابها واللغات الشرقية بجامعة الجزائر 2 على توجيههم وإسنادهم لي طوال فترة دراستي.

كما يطيب لي أن أشكر الأستاذ البروفيسور عبد المجيد سالمي، رئيس قسم علوم اللسان، الذي كان سندا لي في إتمام هذا العمل، فلك مني أستاذي أسمى عبارات الشكر والتقدير.

والشكر موصول كذلك إلى جميع أساتذتي وموظفي مركز البحث العلمي والتقني لتطوير اللغة العربية وأتقدم بشكري الجزيل في هذا اليوم إلى أساتذتي الموقرين في لجنة المناقشة رئاسة وأعضاء لتفضلهم علي بقبول مناقشة هذه الرسالة، فهم أهل لسد خللها وتقويم معوجها وتهذيب نتوآتها والإبانة عن مواطن القصور فيها ، سائلا الله الكريم أن يثيبهم عني خيرا.


بسم الله الرحمن الرحيم

الملخص:

الهدف من هذا العمل هو تطبيق الخوارزميات الوراثية للاستكشاف الآلي لمُصوتات اللغة العربية الفصحى. ولهذا، قمنا بتحليل مجموعة من الجمل التي سجلها متحدث واحد، وذلك باستخدام تقنية التشفير الترقبي الخطي. هذا ما سمح لنا بالحصول على مجموعة من أشعة المعلمات المفيدة، لتكون بمثابة مرجع للنموذجين الوراثيين للمعلمات المقترحين.

الفرق بين هذين النموذجين هو نتيجة اختيار دالة التكيف أو الملاءمة وكذلك معلمات الأشعة المرجعية المفيدة. يسمح التعريف الدقيق لدالة التكيف للخوارزميات الوراثية بتقييم الحلول الممكنة. يركز هذا التقييم على درجة التباين أو الاختلاف بين الأشعة الصوتية المرجعية وتلك الخاصة بالبيانات. يتطلب الاستخدام الفعال للخوارزميات الوراثية معرفة جيدة لأدائها وكذلك تحليلًا مثاليًا لمصوتات اللغة العربية الفصحى المراد التعرف عليها.

تسعى الخوارزميات الوراثية إلى تحقيق أقصى قدر من الدالة العكسية لدالة الملائمة أو التكييف، وهذا ما مكنتنا من تحقيق نتائج مشجعة.

الكلمات المفتاحية: الخوارزميات الوراثية، الاستكشاف الآلي للكلام، التشفير الترقبي الخطي، مصوتات اللغة العربية الفصحى.

Abstract:

The aim of this work is to apply Genetic Algorithms (GA) at Standard Arabic vowels Automatic Recognition. For that, we have analyzed a corpus composed of several sentences, registering by only one speaker, using Linear Predicting Coding method. It results a set of discriminate parameters vectors, which serves as reference for the two proposed Parameterization Genetic Models.

The difference between these two models is the result of the used adaptation or Fitness function and the discriminate parameters reference vectors. An intelligent definition of The adaptation function allows the GA for a better possible solutions evaluation. This evaluation concerns the dissimilarity degree between the two types of acoustical vectors mentioned above.

The Genetic Algorithms, which search to maximize the inverse function of the Fitness one, have permitted to as, to reach interesting results.

Key words: Genetic Algorithms, Speech Automatic Recognition, Linear Predicting Coding, Standard Arabic vowels.

Résumé:

Le but de ce travail est l'application des Algorithmes Génétiques (AG) à la Reconnaissance Automatique des voyelles de l'Arabe Standard (AS). Pour cela, nous avons analysé un corpus de plusieurs phrases enregistrées par un seul locuteur, par la technique du Codage Prédictif Linéaire(LPC). Ce qui a permis d'obtenir un ensemble de vecteurs de paramètres pertinents, servant de référence pour les deux Modèles Génétiques de Paramétrisation (MGP) proposés.

La différence entre ces deux modèles est le résultat du choix de la fonction d'adaptation ou Fitness et celui des paramètres pertinents des vecteurs de référence. Une définition judicieuse de la fonction d'adaptation permet aux AG de bien évaluer les solutions possibles. Cette évaluation se porte sur le dégrée de dissimilarité ou de dissemblance entre les vecteurs acoustiques de référence et ceux des données. L'utilisation efficace des AG nécessite une bonne connaissance de leur fonctionnement ainsi qu'une parfaite analyse des voyelles de l'AS à reconnaître.

Les AG qui cherchent à maximiser la fonction inverse de la fonction Fitness, nous ont permis d'obtenir des résultats encourageants.

Mots clés: Algorithmes Génétiques, Reconnaissance Automatique de la Parole, Codage Prédictif Linéaire, Voyelles de l'Arabe Standard.

الفهرس

مقدمة عامة 2

الفصل الأول: مفاهيم عامة حول الصوتيات

1. مقدمة 6

2. ماهية الصوت 7

3. تعريف علم الأصوات (الصوتيات) 8

4. فروع الصوتيات 8

1.4. علم الأصوات النطقي أو الفسيولوجي 8

2.4. علم الأصوات الأكوستيكي أو الفيزيائي 9

3.4. علم الأصوات السمعي 10

5. تعريف الصوت 10

6. خصائص الصوت 10

1.6. شدة الصوت 10

2.6. ارتفاع الصوت 11

3.6. البصمة الصوتية، الطابع، الجرس 11

7. تصنيف الموجات الصوتية 11

8. الصوت عند الإنسان 12

1.8. نظام إنتاج الكلام 13

2.8. وصف الجهاز الصوتي 14

3.8. كيفية عمل الجهاز الصوتي 15

1.3.8. انتاج الموجة المزمارية (الحنجرة) 16

2.3.8. وظيفة رنان المسالك الصوتية 16

3.3.8. وظيفة مولد الضجيج في الجهاز الصوتي 17

4.8. البواني الصوتية 17

5.8. نمذجة نظام إنتاج الكلام 18

9. خصائص إشارة الكلام 19

1.9. الاستمرارية 19

2.9. التغير 19

1.2.9. التغير الخاص بالمتكلم 20

2.2.9. التغير ما بين المتكلمين 20

3.2.9. التغير الخاص بالسياق 20

3.9. تداخل الكلام (التداخل اللفظي) 20

4.9. التكرار 20

5.9. حرية كبيرة في اللغة المنطوقة 21

10. العناصر الصوتية 21
1.10. الفونيم 21
2.10. الآلفون 21
3.10. المورفيم 21
11. تصنيف أصوات اللغة 22
1.11. المميزات الصوتية 22
2.11. المُصوتات (حروف العلة/ الحركات) 23
3.11. الحروف الساكنة (الصامتة) 24
4.11. معايير تصنيف الحركات 26
5.11. تمثيل الحركات في المثلث الصوتي 27
6.11. أشباه الحركات (أنصاف الصوائت) 28
12. الخاتمة 28

الفصل الثاني: الخصائص الصوتية للغة العربية الفصحى

1. مقدمة 30
2. النظام الصوتي للغة العربية الفصحى 31
1.2. الاصوات الصامتة والاصوات الصائتة 31
1.1.2. الاصوات الصامتة 32
2.1.2. الاصوات الصائتة 32
2.2. الابجدية الصوتية للغة العربية الفصحى 32
3.2. طبيعة الأصوات العربية من حيث صفاتها 34
4.2. طبيعة الأصوات من حيث كيفية خروج الهواء عند النطق بها 34
1.4.2. الأصوات الانفجارية 34
2.4.2. الأصوات الاحتكاكية 34
3.4.2. الأصوات المزدوجة 35
4.4.2. الأصوات الجانبية 35
5.4.2. الأصوات الأنفية 35
6.4.2. الصوت التكراري أو المكرّر 35
5.2. طبيعة الأصوات من حيث حالة الوترين الصوتيين عند النطق بها 36
1.5.2. الأصوات المجهورة 36
2.5.2. الأصوات المهموسة 36
6.2. طبيعة الأصوات من حيث حالة مؤخرة اللسان أثناء النطق بها 36
1.6.2. الأصوات المطبقة (المفخمة) 36
2.6.2. الأصوات المرققة 37
3.6.2 الأصوات البينية 37
4.6.2. أصوات الاستعلاء 37

7.2. طبيعة الأصوات العربية من حيث مخرجها 37
3. مفهوم الحركات في اللغة العربية 40
1.3. خصائص الحركات 41
2.3. أنواع الحركات في اللغة العربية 42
3.3. أقسام الحركات العربية 43
1.3.3. من حيث الطول والقصر 43
2.3.3. من حيث استدارة الشفتين عند النطق بها 43
3.3.3. من حيث ارتفاع اللسان في الفم 43
4.3.3. من حيث جزء اللسان الذي يرتفع عند النطق 43
4.3. الحركات المزدوجة أو المركبة 44
5.3. أنصاف الحركات 45
6.3. التنوين 45
4. خصوصيات اللغة العربية 45
1.4. التشديد 46
2.4. الحروف الساكنة الخلفية 48
3.4. التضعيف 48
5. الخاتمة 49

الفصل الثالث: مبادئ ومقاربات الاستكشاف لآلي للكلام

1. مقدمة 51
2. ماهية الاستكشاف الآلي للكلام 51
3. أشكال اللغة المختلفة 52
1.3. مصادر المعرفة المستقلة عن السياق 53
2.3. مصادر المعرفة داخل السياق (السياقية) 54
4. مقاربات الاستكشاف الالي للكلام 54
1.4. المقاربة الاجمالية 56
2.4. المقاربة التحليلية 58
5. حل التشفير اللفظي الصوتي 60
1.5. استخراج الثوابت الموافقة أو الملائمة للإشارة الصوتية 61
2.5. تجزئة الإشارة الصوتية 62
3.5. وضع العلامات الصوتية (الوسم) 63
6. نماذج مختلفة من التعرف الالي على الكلام 65
7. وظائف قياس المسافة 66
8. طرق التصنيف 68
1.8. خلائط قوانين غوسيان 68
2.8. نماذج ماركوف المخفية 68

3.8. الشبكات العصبية الاصطناعية 69
9. خوارزميات التصنيف البيومترية 70
1.9. المقاربات التطورية 71
2.9. النمل الاصطناعي 71
3.9. نظم المناعة 72
10. الخاتمة 73

الفصل الرابع: المفاهيم الأساسية للخوارزميات الوراية

1. مقدمة 75
2. نشأة الخوارزميات الوراثية 75
3. تعريف الخوارزميات الوراثية 76
4. أهداف الخوارزميات الوراثية 76
5. الخوارزميات الوراثية و قوانين الطبيعة 77
6. المبادئ الأساسية للخوارزميات 78
1.6. التهيئة الابتدائية للمجتمع 81
2.6. التشفير و فضاء التمثيل 81
1.2.6. التشفير 81
2.2.6. فضاء البحث 83
3.6. دالة التقييم 84
1.3.6. طريقة المقياس الثابت 85
2.3.6. طريقة تغيير المقياس 85
3.3.6. طريقة سيقما المبتورة 86
7. الاصطفاء الطبيعي 86
1.7. طرق الاصطفاء 86
1.1.7. الاصطفاء المحدد 87
2.1.7. الاصطفاء العشوائي 87
2.7. مبادئ الاصطفاء 87
3.7. تقنيات الاصطفاء 88
1.3.7. الاصطفاء المنظم 88
2.3.7. السحب الدوالبي المنحاز 88
3.3.7. الاصطفاء عن طريق الدورة 89
4.3.7. الاصطفاء المنتظم 89
4.7. التحسين الكلاسيكي للاصطفاء 89
1.4.7. تقنية تغيير المقياس 89
2.4.7. تقنية المشاركة 91
8. العوامل الوراثية للتكاثر 92

1.8. تقنيات التهجين 93
1.1.8. التهجين السهل 93
2.1.8. التهجين المتعدد 94
3.1.8. التهجين المنتظم 94
4.1.8. التهجين الخطي 95
5.1.8. التهجين المخفي 95
6.1.8. اختيار تقنية التهجين 96
2.8. تقنيات التطافر 97
1.2.8. التطافر العشوائي 98
2.2.8. التطافر المنتظم 98
3.2.8. التطافر غير المنتظم 98
9. معظلة الاستكشاف و الاستغلال 99
10. موازاة الخوارزميات الوراثية 99
11. الخاتمة 100

الفصل الخامس: تنفيذ النماذج الوراثية و تطبيقها

1. مقدمة 102
2. التصنيف الوراثي 102
3. المجتمع الابتدائي من المصنفين 103
4. اختيار البيانات الصوتية المرجعية 104
1.4. مجموعة البيانات المرجعية للنموذج الأول 104
2.4. مجموعة البيانات المرجعية للنموذج الثاني 106
5. النمذجة الوراثية 107
1.5. إنشاء المجتمع الابتدائي 107
2.5. دالة التكيف 109
1.2.5. اختيار قياس الاختلاف 110
2.2.5. تعريف دالة التكيف للنموذج الأول 111
3.2.5. تعريف دالة التكيف للنموذج الثاني 111
4.2.5. تقييم دالة التكيف 111
6. النتائج والاستقراءات (التفسيرات) 112
1.6. النتائج 113
1.1.6. نتائج النموذج الجيني الأول 113
2.1.6. نتائج النموذج الجيني الثاني 114
2.6. التعليقات 116
7. الخاتمة 117
خاتمة عامة 119

فهرس الجداول

الفصل الثاني: الخصائص الصوتية للغة العربية الفصحى

الجدول 1.2: الابجدية الصوتية للغة العربية الفصحى..... 33
الجدول 2.2: الصوامت في اللغة العربية الفصحى..... 40
الجدول 3.2: مخارج الحروف الساكنة الخلفية..... 48

الفصل الرابع: المفاهيم الأساسية للخوارزميات الوراثية

الجدول 1.4: تشابه المصطلحات الوراثية مع الطبيعة..... 78

الفصل الخامس: تنفيذ النماذج الوراثية و تطبيقها

الجدول 1.5: القيم المتوسطة المكونات الثلاثة المميزة لمصوتات اللغة العربية الفصحى..... 105
الجدول 2.5: الأشعة المرجعية الصوتية لمصوتات اللغة العربية الفصحى..... 106
الجدول 3.5: نسبة التعرف على المصوتات الشفوية للغة العربية الفصحى بواسطة النموذج الوراثي الاول..... 113
الجدول 4.5: تطور نسبة التعرف على المصوتات بواسطة النموذج الاول عبر الأجيال..... 113
الجدول 5.5: تأثير قيمة احتمال التهجين على نسبة التعرف على المصوتات بواسطة النموذج الأول..... 114
الجدول 6.5: نسبة التعرف على المصوتات الشفوية للغة العربية الفصحى بواسطة النموذج الوراثي الثاني..... 114
الجدول 7.5: تطور نسبة التعرف على المصوت [a:] بواسطة النموذج الثاني عبر الأجيال..... 115
الجدول 8.5: تأثير قيمة احتمال التهجين على نسبة التعرف على المصوت [a:] بواسطة النموذج الثاني..... 115

فهرس الأشكال

الفصل الأول: مفاهيم عامة حول الصوتيات

الشكل 1.1: جهاز الصوت البشري وأماكن التعبير عن الأصوات 14
الشكل 2.1: نموذج انبوبي للقناة الصوتية 15
الشكل 3.1: تمثيل الجهاز الصوتي 15
الشكل 4.1: البصمة المحصل عليها عن طريق الترقب الخطي 17
الشكل 5.1: البواني الصوتية 18
الشكل 6.1: النموذج الوظيفي لإنتاج الكلام 18
الشكل 7.1: مثلث الحركات للغة العربية 27

الفصل الثاني: الخصائص الصوتية للغة العربية الفصحى

الشكل 1.2: مخارج الحروف الصامتة للغة العربية الفصحى عند الانسان 38
الشكل 2.2: النظام الصوتي للغة العربية الفصحى حسب المعيار الاكوستي 44
الشكل 3.2: الحروف الساكنة المفخمة في اللغة العربية الفصحى 47

الفصل الثالث: مبادئ ومقاربات الاستكشاف لآلي للكلام

الشكل 1.3: عناصر نظام التعرف الآلي على الكلام 52
الشكل 2.3: المستويات الهرمية المختلفة للغة 53
الشكل 3.3: رسم تخطيطي للهيكل العام لنظام التعرف على الصوت 55
الشكل 4.3: بنية نظام التعرف الآلي على الكلام حسب المقاربة الاجمالية 57
الشكل 5.3: رسم بياني لبنية نظام التعرف على الكلام التحليلي 59
الشكل 6.3: رسم تخطيطي لمبدأ الخطوات الأولى لعلاج نظام الاستكشاف الالي للكلام 62
الشكل 7.3: مخطط وحدات نظام التصنيف الصوتي 64

الفصل الرابع: المفاهيم الأساسية للخوارزميات الوراثية

الشكل 1.4: هيكل الخوارزميات الوراثية 79
الشكل 2.4: المبدأ العام لعمل الخوارزميات الوراثية 80
الشكل 3.4: المستويات الخمسة لتنظيم الخوارزميات الوراثية 82
الشكل 4.4: التهجين في نقطة واحدة 93
الشكل 5.4: التهجين بتقسيم الصبغي في نقطتين 94
الشكل 6.4: الطفرة في جين 97

الفصل الخامس: تنفيذ النماذج الوراثية وتطبيقها

الشكل 1.5: البواني الصوتية 106
الشكل 2.5: الهيكل التنظيمي للنموذج الجيني 108
الشكل 3.5: تشكيل المجتمعات الابتدائية الستة للنموذج الجيني 109

مقدمة عامة

مقدمة عامة:

لقد أظهر الإنسان دائمًا الحاجة إلى التواصل مع أقرانه ومع محيطه. إذ لعب التواصل دوما دورا حاسما في تطور المجتمعات البشرية. أين كانت القدرة على التواصل السريع والبعيد واحدة من أقدم أحلام الانسان. هذا الحلم هو في مرحلة التحقيق بفضل التقدم الهائل للبحث في مجال الحوار بين الانسان والآلة. منذ نشأة الحوسبة، برزت الحاجة إلى مثل هذا النوع من الحوار باستخدام اللغة الطبيعية.

يعتبر تحقيق أنظمة حقيقية للحوار الشفوي بين الإنسان والآلة موضوعًا مهمًا للبحث في مجال المعالجة الآلية للكلام (TAP: *Traitement Automatique de la Parole*)، حيث يلعب الاستكشاف الآلي للكلام (RAP: *Reconnaissance Automatique de la Parole*) فيه دورًا مهمًا للغاية. وفي هذا المنحى يتجلى عملنا. أين يعتبر الوصول الى نظام الي مثالي يمكن بمخاطبة الالة بلغة طبيعية كهدف أسمى لعملنا، على الرغم من الصعوبات غير الهينة التي لابد من معالجتها، كتعدد اللهجات في اللغات الطبيعية وصعوبة اللغات الطبيعية في حد ذاتها وكذا الظروف المتغيرة المحطة بالكلام. ولاسيما عندما تكون اللغة الطبيعية المرادة هي اللغة العربية، فهي لغة غنية جدا من حيث مفرداتها وقواعدها، حيث تعتبر من أهم اللغات السامية، اذ تعتبر لسان نسبة كبيرة من البشر وخصوصا مع انتشار الاسلام في مختلف بقاع الارض باعتبارها لغة القرآن الكريم.

ولكن في وقتنا هذا فقدت اللغة العربية هيمنتها بعدما كانت لغة العلم والعلوم، وهذا نظرا لأفول نجم العلم والمعرفة عند العرب وتفوق الغرب فيه، فساهموا بذلك في تطوير لغاتهم من مختلف الجوانب وفرضها كلغات للعلوم والتكنولوجيا. ولعل من بين أهم الجوانب التي طوروها للغاتهم الجانب الصوتي، حيث جعلوا لغاتهم أكثر قابلية للتألية وأدمجوها وجعلوها كمرجع لبقية اللغات.

وبما أن اللغة العربية الفصحى تعتبر لغة أكثر من مليار من الناطقين بها، فهي تستحق أن تكون موضوع عمل بحثي مكثف في سياق المعالجة الآلية للكلام (TAP).

ومن هذا الجانب ارتأينا أن نساهم بقدر بسيط في تطويرها وذلك من خلال انشاء نظام آلي خاص باستكشاف الكلام باللغة العربية الفصحى وهذا بالاستعانة بالأعمال السابقة في هذا المجال. حيث ركزنا في عملنا على مُصوتات اللغة العربية الفصحى باعتبارها أهم ما يميز هذه اللغة العربية على بقية اللغات، فمُصوتات اللغة العربية ليست حروفا بل هي شكل لنطق الحروف.

حيث يرتكز الاستكشاف الآلي للكلام حاليًا على العديد من الإشارات ذات الصفات المختلفة (التردد، القياس الكمي، التشفير، شروط التسجيل،...الخ). نتيجة لذلك، فإن مشكلة تكييف النماذج الصوتية مع بيئة جديدة هي مشكلة عويصة.

إذن عملنا هذا يركز على مجال الاستكشاف الآلي للكلام (RAP). فبشكل عام هو يعكف على استكشاف مُصوتات اللغة العربية الفصحى في الكلام المستمر وإيجاد نموذج يجعل من الممكن تطبيق الاستكشاف الآلي للكلام على أي نوع من إشارة الكلام. لهذا الغرض، ركزنا عملنا على تألية معالجة الأشعة الصوتية باستخدام تقنيات الخوارزميات الوراثية (AGs: *Algorithmes Génétiques*).

تعد الخوارزميات الوراثية جزء من جيل جديد من الخوارزميات تسمى الخوارزميات التطورية (AE: *Algorithmes Évolutionnaires*). والتي تم تصميمها على أساس مبادئ علم الوراثة والتكاثر الطبيعي.

تُستخدم الخوارزميات الوراثية بشكل عام لحل المسائل التي فشلت فيها الطرق التقليدية. حيث أنها فعالة جدًا في تحسين الأنظمة الديناميكية المعقدة بالإضافة أنها تتطور سريعا مع مرور الوقت.

في الاستكشاف الآلي للكلام، تم استخدام الخوارزميات الوراثية بنجاح لتحسين النماذج المخفية لماركوف (HMM: *Hidden Markov Models*)، ونماذج الشبكات العصبية، ...إلخ.

إن استخدام الخوارزميات الوراثية كنموذج لقياس الثوابت والتصنيف العددي، هو قيد التجربة حاليًا في جميع أنحاء العالم. ومع ذلك، فقد بدأ هذا النموذج في تحقيق نتائج أكثر وأكثر إقناعا. لكن إلى أي حد سيُمَكننا استعمال تقنيات الخوارزميات الوراثية في الاستكشاف الآلي لمُصوتات اللغة العربية الفصحى في الوصلات الصوتية؟

ومن اجل هذا تطرقنا في هذه المذكرة الى خمسة فصول:

- يقدم الفصل الأول مفاهيم عامة حول الصوتيات تحوي عموميات متعلقة بإشارة الكلام وخصائصها ونظام الإنتاج الخاص بها. بالإضافة إلى ذلك، تمت التطرق بشكل عام إلى نظام المُصوتات في اللغات الطبيعية.
- أما الفصل الثاني فقد خصصناه إجمالا للغة العربية الفصحى حيث ركزنا على الخصائص الصوتية للعربية الفصحى، وكذا نظامها الصوتي وطبيعة أصواتها، كما تطرقنا أيضا إلى مُصوتاتها.
- فيما تطرقنا في الفصل الثالث إلى مبادئ ومقاربات الاستكشاف الآلي للكلام، من خلال التطرق الى المبدأ العام وكذلك المقاربات المختلفة للاستكشاف الآلي للكلام، بما في ذلك المقاربة الاجمالية والمقاربة التحليلية. كما تمت مناقشة فك التشفير الأكوستي الصوتي (DAP: *Décodage Acoustico-phonétique*)، وهو المرحلة التي تسمح بمرور الإشارة الصوتية إلى سلسلة من الرموز الصوتية، بالإضافة الى التحليل الصوتي للإشارة الصوتية والقولبة التلقائية (AR: *Auto-Regressive modeling*) واستخلاص الثوابت الملائمة.
- في الفصل الرابع تطرقنا إلى المفاهيم الأساسية للخوارزميات الوراثية ومبدأ ومراحل عملها، وكذا تقنيات التكاثر المختلفة المعمول بها والمعايير اللازمة لأدائها الصحيح.
- يقدم الفصل الخامس كيفية تنفيذ النماذج الوراثية وتطبيقها لغرض الاستكشاف كما يعرض النتائج المحصل عليها بعد تطبيق الخوارزميات الوراثية من أجل استكشاف المصوتات الشفوية للعربية الفصحى.

الفصل الأول

مفاهيم عامة حول الصوتيات

1. مقدمة:

تكمن المعالجة الالية للغة الطبيعية في عدة أبعاد، مثل الترجمة الآلية وتحليل النص وفهمه والاستعلام عن قواعد البيانات والتعليم وغيرها من الميادين. حيث ساهم التطور التكنولوجي من خلال ظهور أجهزة الكمبيوتر باعتبارها أداة اتصال بين البشر والآلات، ولعل من بين أهم هذه الميادين هي معالجة المعلومات الصوتية أو التعرف عليها أو توليفها.

في عملية الاتصال المنطوق، بالنسبة إلى لغة معينة، تُمكّن الأصوات من التمييز بين وحدات المعنى المختلفة عن اللغة. حيث يعتبر علم الاصوات علم قديم يدرس الأصوات اللغوية، من حيث مخارجها وصفاتها وكيفيَّة صدورها. ويطلق على هذا العلم أيضًا: الصّوتيات، أو علم الصّوتيات، وهو فرع من فروع علوم اللغة (اللسانيات).

يدرس علم الأصوات في اللغة مجموعة من الأصوات ينتجها الإنسان بوساطة جهازه الصَّوتي (جهاز النطق)، وهو يتكوَّن أساسًا من الرئتين والقصبة الهوائية والحلق والحنجرة والحبال الصوتية (الأوتار الصوتية) واللهاة واللسان والحنكين والشفتين، ومعها تجويف الفم والأنف.

لذلك يجب إجراء دراسة أولية للإشارة الصوتية ونظام الإنتاج الخاص بها، من أجل إعطاء الجهاز كل خصائص الكلام سواء كانت لغوية، صوتية أو عروضي.

نقدم في هذا الفصل، الخصائص الصوتية الرئيسية للأصوات بشكل عام وتلك الخاصة باللغة العربية الفصحى بشكل خاص، وكذلك النظام الرئيسي لإنتاج الكلام الطبيعي.

2. ماهية الصوت:

يحاول العلماء المعنيون بدراسة اللغة تحديد ما يعنيه "الصوت" فوضعوا تعريفات لهذا المصطلح تباينت بين قديمهم وحديثهم. ومن بين القدماء ابن سينا الذي عرف الصوت بأنه "تموج الهواء ودفعه بقوة وسرعة من أي سبب كان". أما المحدثون فمنهم إبراهيم أنيس الذي عرف الصوت بأنه "ظاهرة طبيعية ندرك أثرها دون أن ندرك كنهها". [إدريس جوهر، 2014]

كما ان الصوت يعتبر ظاهرة طبيعية، وشكل من اشكال الطاقة وهو يستلزم وجود جسم في حالة اهتزاز أو تذبذب، وهذه الاهتزازات أو الذبذبات تنتقل عبر وسط معين حتى تصل الى أذن الانسان، وقد فرق العلماء بين نوعين من الاصوات:

1. **النوع الأول:** هو الصوت الطبيعي، ويصدر من ظواهر الطبيعة وموجوداتها كصوت الريح أو خرير المياه...الخ.
2. **النوع الثاني:** وهو ما يصدر من الانسان دون غيره، فالجهاز النطقي للإنسان قادر على انتاج أصوات كثيرة، فالأصوات الصادرة عنه تكون ذات معنى، فتنقل رسالة محددة من عقل انسان الى آخر.

إذن فالصوت لا يأتي من فراغ، إنما يحدث مع وجود أسباب معينة. حيث انه لابد من توفر ثلاثة شروط لحدوث الصوت، وهي: [إدريس جوهر، 2014]

1. **مصدر الطاقة:** وهو يتمثل في القوة أو الحركة أو الضربة التي تسبب حركة الشيء واهتزازه.
2. **جسم مهتز أو متذبذب:** وهو يتمثل في الأشياء التي تهتز بسبب وجود الحركة أو الضربة التي تصيبها.
3. **حجرة الرنين:** وهي وسط غازي (أو سائل أو صليب) يتذبذب بوساطته الصوت الصادر من الجسم المهتز، وهو الذي يجعل الصوت مسموعا.

3. تعريف علم الأصوات (الصوتيات):

علمُ الأصوات هو العلم الذي يدرسُ الأصوات اللغوية، بناءً على مخارج الحروف وكيفيَّة صدورها، ويطلقُ عليه أيضًا: علم الصوتيَّات، وهو من فروع علم اللغة، حيثُ يرى علم الأصوات في اللغة مجموعةً من الأصوات التي ينتجها الإنسان من جهاز الصوت أو جهاز النطق الخاص به،[بشر، 2000] يقوم علماء الصوت بدراسة أمرين هما: مخارج الصوت، أي تحديد منطقة الصوت في جهاز النطق. والشيء الثاني، هو صفات الأصوات، حيث يوصف الصوت بناءً على ملاحظة طريقة احتكاك الهواء بعضلات جهاز النطق.

يصنف علم الصوتيات (Phonétique) كفرع من اللسانيات، والذي يرتكز على الدراسة العلمية لأصوات اللغات الطبيعية، وبالنسبة لـ ن. تروبتزكوي فهي تتميز اساسا بحذف كل علاقة ما بين الصيغة الصوتية المدروسة ومعناها اللغوي، ومن خلال هذا فهو يقول ان علم الصوتيات يمكن تعريفه بأنه علم الجانب المادي لأصوات اللغة البشرية.

حسب موقع ويكيبيديا فإن الصوتيات أو علم النطق أو علم الأصوات الكلامية هو أحد فروع علم اللسانيات، يُعنى بالجهاز الصوتي ومخارج أصوات الكلام الإنساني وتبويبها. كان الخليل بن أحمد الفراهيدي أول عالم صوتيات عربي و القاموس الذي كتبه فيه أول تصنيف لأصوات اللغة العربية. لكل لغة نظامها الصوتي الخاص بها التي يمكن كتابة أصواتها بنظامها الكتابي أو بالأبجدية الصوتية الدولية (IPA: *International Phonetic Alphabet*) التي تمّكن دارسي اللغات من نطق أصواتها أو التعرف عليها.

كما يعرف علم الأصوات بأنه علم يبحث في مجال الأصوات اللغوية من حيث مخارجها وكيفية إخراجها وخواصها الأكوستية كموجات صوتية، وكيف يتم سماعها وإدراكها.

4. فروع الصوتيات: تنقسم الصوتيات الى ثلاثة فروع، هي:

1.4. علم الأصوات اللغوي أو الفسيولوجي:

ويقوم بتحديد مخارج الأصوات اللغوية وطرق إخراجها، ودراسة الجهاز الصوتي عند الإنسان والعضلات التي تتحكم في أعضاء النطق. [الخولي، 1982]

الصوت اللغوي هو أثر سمعي يصدر من أعضاء النطق على أوضاعها الخاصة ومن خلال حركاتها المعينة معبرا عن شيء عند ناطقه ومحدثا تأثيرا معينا عند سامعه. هذا يعني أن الصوت اللغوي يصدر من عملية نطقية معينة ليصبح أثرا مسموعا في صورة ذبذبات صوتية تصل إلى أذن السامع حاملا معنى معينا يُحدث فيه تأثيرا. [لوشن، 2006]

يتم الصوت اللغوي على ثلاثة مراحل، وهي:

1. **مرحلة إصدار الصوت (النطق):** وهو يمثل عملية نطق الأصوات من طرف المتكلم عن طريق وضعيات مختلفة لجهازه النطقي. [لوشن، 2006]
2. **مرحلة انتقال الصوت وانتشاره (الصوت الأكوستيكي أو الفيزيائي):** تمثل هذه المرحلة عملية انتشار الصوت على الهواء على شكل ذبذبات بعد خروجه من فم المتحدث ليصل إلى أذن المستمع. [لوشن، 2006]
3. **مرحلة استقبال الصوت (مرحلة السمع):** تمثل هذه المرحلة في الجهاز السمعي لدى السامع وكيفية وصول الصوت الصادر عن المتكلم والمنتشر في الهواء ليصل إلى أذن المستمع، وتعتبر هذه المرحلة عملية فسيولوجية تتصل بعملية عقلية نفسية حيث يفهم السامع الصوت ويحدث في نفسه تأثير. [لوشن، 2006]

2.4. علم الأصوات الأكوستيكي (الفيزيائي):

ويتمثل هذا الجانب في الاهتمام بالموجات الصوتية المنتشرة في الهواء نتيجة لإخراج الأصوات. وهو يدرس الأصوات من جانبها الفيزيائي أو الأكوستيكي المتمثلان في الموجات الصوتية التي تنتقل وتنتشر على الهواء.

بعبارة أخرى إنه يعالج الأصوات في مرحلة الانتقال بعد خروجها على شكل الذبذبات والموجات من فم المتكلم وقبل وصولها إلى أذن السامع. فموضوع دراسة هذا العلم هو: سعة الصوت، ودرجة الصوت، ونوع الصوت. [الخولي، 1982]

3.4. علم الأصوات السمعي:

يهتم هذا الفرع بالفترة التي تقع منذ وصول الموجات الصوتية إلى الأذن حتى إدراكها في الدماغ. وهو يدرس ميكانيكية الجهاز السمعي وتأثره بالأصوات من حيث تموجاتها، واستقبالها، وتحويلها إلى رسائل مشفرة عبر سلسلة الأعصاب والدماغ، بعبارة أخرى فهو يعالج الأصوات عند وصولها الى أذن المستمع من الناحيتين الفسيولوجية والنفسية. [الخولي، 1982]

5. تعريف الصوت:

في الفيزياء يُعرّف الصوت بأنّه عبارة عن موجات ميكانيكية طولية؛ والأمواج الميكانيكية هي الأمواج التي تنتقل خلال الأوساط المادية، [الخولي، 1982] ولا يمكنها الانتشار دون وُجودِ وسطٍ مادي، بينما نقول عن الموجة إنها طولية إذا كان اتجاه انتشار هذه الموجة هو اتجاه اهتزازها نفسه، (يوجد نوع آخر من الأمواج وهو الأمواج المستعرضة، وهذه الأمواج تنتشر بشكلٍ عمودي على اتجاه الاهتزاز مثل أمواج الماء).

كما يُعرّف الصّوت على أنه اهتزاز ينشأ ويُحمل على الأوساط المادّية (مثل الهواء) لينتقل خلالها، وإذا وصل الصّوت لمستقبل مثل أذن الإنسان فإنه يمكن إدراكه عن طريق حاسة السمع.

6. خصائص الصوت:

يعتبر الصوت من بين أهم وسائل الاتصال والتواصل بين مختلف الكائنات الحية، يكون الصوت على شكل ذبذبات معقدة التركيب تختلف بحسب مصدر الصوت، وهذا ما يساعدنا في تمييز الأصوات عن بعضها البعض، كما تتأثر بشكل كبير بالمحيط والعوامل الخارجية، ويكون عادة اختلاف الأصوات في مجموعة من خلال خصائصها، والتي يمكننا أن نلخصها فيما يلي:

1.6. شدة الصوت (Intensité du son):

وهي نوعية الصوت والتي تسمح لنا بتمييز بين الصوت القوي والصوت الضعيف. ترتبط شدة الصوت بسعة الذبذبات الصوتية.

ويُقصد بشدة الصوت مقدار الطاقة السمعية الموجودة في حدود السمع البشري، وهي تتناسب مع مربع السعة، وتُقاس بوحدة الواط/سم^2 أو بوحدة الديسيبل (dB)، بحيث تكون ما بين 0 ديسيبل (في حالة السكون التام) و120 ديسيبل (عند عتبة الالم)، كما أن كثافة الصوت تتأثر بالمسافة، حيث تقل بسرعة كلما زادت المسافة من المصدر.

2.6. ارتفاع الصوت (Hauteur du son):

وهي نوعية الصوت التي تسمح لنا بالتمييز بين الصوت الحاد والصوت الغليظ. حيث يرتبط ارتفاع الصوت بسرعة حركة ذهاب واياب الذبذبات بالنسبة لنقطة انطلاق معينة (التردد الأساسي). وعليه فهو مرتبط بعدد الذبذبات في الثانية الواحدة وهذا ما يطلق عليه بالتردد الصوتي ويقاس بالهيرتز (Hertz).

يعتمد الطول الموجي على التردّد، وسرعة الصوت معا، إذ يُعبِّر عن المسافة التي يقطعها الصوت في دورة واحدة، أي في تردّد واحد، ويمكن تمثيله رياضياً بقسمة سرعة الصوت على التردد، وبذلك يُستنتج أنّه بزيادة تردد الصوت يقلّ الطول الموجي له.

تتغير سرعة الصوت بتغير الوسط الناقل، بحيث ينتقل الصوت في الغازات بسرعة تختلف عن السوائل والمواد الصلبة، كما تتأثر سرعة الصوت أيضاً بحرارة الوسط الناقل بحدّ ذاته.

3.6. البصمة الصوتية، الطابع، الجرس (Timbre du son):

تعتبر البصمة الصوتية النوعية الخاصة للصوت، وتكون مستقلة تماما عن شدة او ارتفاع الصوت ولكنها خاصة بالنسبة لصوت المصدر كائنا كان أو آلة. حيث ترتبط هذه الخاصية الصوتية أساسا بشكل وتكوين تجويف الالة الصوتية لمصدر الصوت. وهذا ما يمكننا من التعرف على الاصوات المألوفة من خلال البصمة الصوتية.

7. تصنيف الموجات الصوتية:

يُصنِّف علماء الفيزياء والصوتيات الموجات الصوتية إلى ثلاثة أصناف هي:

1. **الموجات المسموعة:** أي يستطيع الإنسان سماعها وهي ذات التردد ما بين 20 أو 15 إلى 20000 هيرتز، وينخفض الحد الأعلى للتردد مع التقدم في العمر ليصل إلى 12000 هيرتز.

2. **الموجات فوق المسموعة:** أي الموجات التي يزيد ترددها عن 20000 هيرتز ولا يستطيع الإنسان سماعها.
3. **الموجات تحت المسموعة:** أي الموجات التي يقلّ ترددها عن 20 هيرتز كأصوات حركة الأرض وانزلاق طبقاتها ولا يستطيع الإنسان سماعها بينما تتمكن بعض الحيوانات من سماعها.

8. الصوت عند الإنسان:

إن عملية حدوث الصوت ونطقه عند الإنسان تستلزم الشروط الثلاثة السابقة الذكر وهي مصدر الطاقة والجسم المهتز وحجرة الرنين. وتبدأ هذه العملية باندفاع الهواء أو النفس من الرئتين ثم يمر بالحنجرة التي فيها وتران صوتيان فالتقاء هذين الوترين الصوتيين يحدث الاهتزازات التي تخرج من الفم أو الأنف، ثم تنتقل خلال الهواء الخارجي على شكل الموجات الصوتية مبتعدة عن الجسم المهتز حتى تصل إلى أذني السامع. [إدريس جوهر، 2014]

والوتران الصوتيان لهما أوضاع مختلفة ولا يهتزان إذا كانا متباعدين. إنما يهتزان إذا كانا متقاربين وذلك عندما يضرب بهما الهواء المندفع من الرئتين. واهتزازهما هذا هو الذي يحدث الصوت. ثم يتضخم هذا الصوت ويصبح مسموعا عندما يبتعد عن الوترين المهتزين ويمر بتجاويف الحنجرة والفم أو الأنف، ثم يخرج إما من الفم أو من الأنف، ثم يتذبذب على الهواء، ثم يصل إلى أذني السامع. [إدريس جوهر، 2014]

يمكن وصف عملية حدوث الصوت ونطقه عند الإنسان على الترتيب الآتي:

1. يندفع الهواء أو النفس من الرئتين متجها إلى الحنجرة.
2. في الحنجرة يمر الهواء بالوترين الصوتيين، مرور الهواء يسبب اهتزاز الوترين الصوتيين.
3. اهتزاز الوترين الصوتيين يحُدث الصوت أو يُكونه.
4. يتذبذب الصوت ويتضخم من خلال التجويف الحلقي، ثم التجويف الفموي أو التجويف الأنفي.
5. يخرج الصوت إما من الفم أو من الأنف ليكون مسموعا.

1.8. نظام إنتاج الكلام:

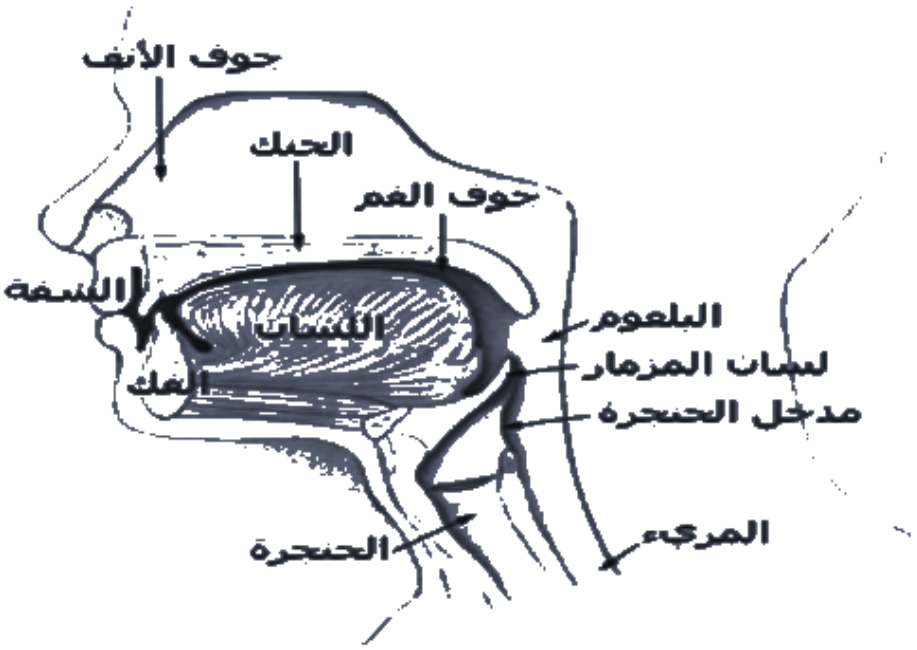
نحن نعتمد على أصواتنا كل يوم في التفاعل مع الآخرين، والصوت الصحيح والواضح يساعد على حصول اتصال واضح وسليم، ولكن هلا أخذنا نظرةً حول أجزاء الجسم التي تعمل معاً لإنتاج الأصوات.

تتمثل الأجزاء الرئيسية المسؤولة على خروج الصوت في:

1. **مصدر الطاقة:** قوة صوتك تأتي من الهواء الخارج أثناء الزفير، فكما نعلم عندما تتم عملية الاستنشاق ينخفض الحجاب الحاجز ويتوسع القفص الصدري، ويتم سحب الهواء إلى الرئتين، على عكس عملية الزفير، التي يتم بها إخراج الهواء من الرئتين، ويوفر هذا التيار الناتج عن الهواء الخارج الطاقة للحبال الصوتية في الحنجرة لإنتاج الصوت، وكلما كان تيار الهواء أقوى كلما خرج الصوت قوياً، ولإعطاء صوتك حالةً جيدةً لا بد لك من دعمه بالتنفس المنتظم مما يظهر تيار هواء قوي وثابت، ويساعد على خروج الأصوات بشكل واضح.
2. **الهزاز:** الحنجرة (أو صندوق الصوت) وتتواجد على رأس القصبة الهوائية، وتحتوي على اثنين من الأحبال الصوتية (المعروف أيضا باسم الأوتار الصوتية) والتي تنفتح خلال التنفس وعلى مقربة من مكان البلع لتنتج الصوت، عندما يتم إصدار الصوت فإن تيار الهواء يمر بين اثنين من الأوتار الصوتية، وهذه الأوتار تتميز بالليونة مما يجعلها تهتز أثناء مرور تيار الهواء.
3. **الرنان:** هي الأوتار الصوتية بحد ذاتها، فهذه الأوتار الصوتية هي التي تنتج الضوضاء، التي تبدوا وكأنها أزيز بسيط، وذلك يتضح بحركة الصوت وطريقة خروجه من البوق، حيث أن الهيكل العلوي الموجود فوق الأحبال الصوتية، متضمناً بذلك كل من الحلق والأنف، والفم، الذي يشكل كل منها جزءاً من النظام الرنان، ويمكننا مقارنة هذه الهياكل بالهيكل الخارجي للقرن أو البوق، وصوت الأزيز المنشئ يتم تغييره وفقاً لشكل الجهاز المرن، وتبعاً لمخرج الهواء عبر كل من الأوتار واهتزازها بالهيكل وخروجها من مخرجها يجعل كل صوت يتميز عن الآخر مما يجعل صوت الإنسان فريداً من نوعه، وعندما نكون في حالة جيدة، فإن الأجزاء الرئيسية الثلاثة توفر الجهد خلال الكلام.

2.8. وصف الجهاز الصوتي:

يتكون النظام الصوتي بأكمله من الرئتين والحنجرة والمسالك الصوتية. هذا الأخير يتكون من أربعة تجاويف: البلعوم والفم والأنف والشفتين. (الشكل1.1)

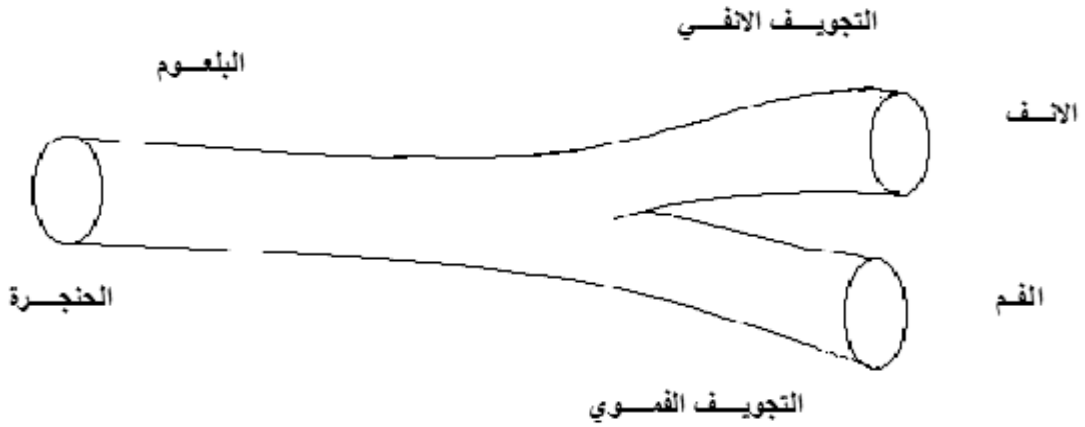


الشكل 1.1: جهاز الصوت البشري وأماكن التعبير عن الأصوات

تعد الرئتان المصدر الرئيسي للطاقة في إنتاج الأصوات، فهي عبارة عن خزان للهواء. إن تباين ضغط هذا الهواء يجعل من الممكن تغيير معدل إنتاج الأصوات.

القصبة الهوائية هي قناة تضمن تدفق الهواء من الرئتين إلى الحنجرة. يحدد الأخير طبيعة تدفق الهواء الذي سيثير الجهاز الصوتي عبر الحبال الصوتية (العضلات المرنة).

يمتد الجهاز الصوتي من الحنجرة إلى التجويف الشفوي عن طريق أنبوب ثلاثي الأبعاد مُتهيج بواسطة مصدر صوتي واحد أو اثنين. (الشكل 2.1)



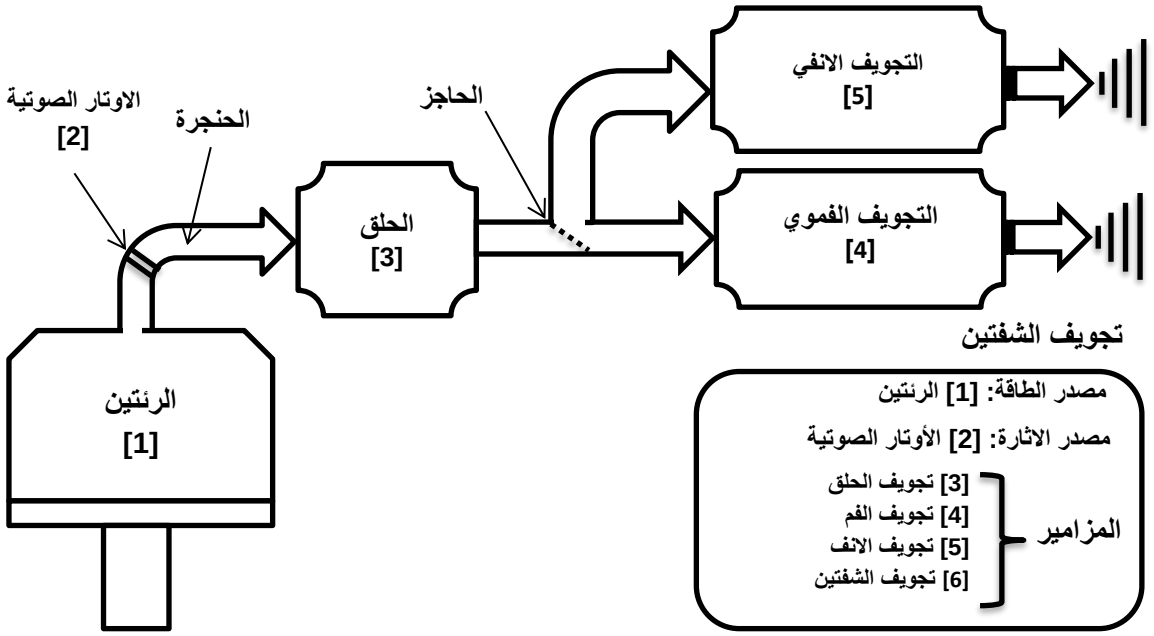
الشكل 2.1: نموذج انبوبي للقناة الصوتية

القناة الفموية ذات شكل مختلف إذ أنها يحتوي على اللسان، الفكين، الأسنان، الحنك، ...إلخ، ويليها تجويف شفوي. أما بالنسبة للغة، فهي تلعب دورًا في الاتصال الصوتي، بفضل تنقلها. [Rabiner,1987]

اداة النطق تتكون من المنطقة السفلية للقناة الفموية، والتي تتمثل في الشفة السفلى والأجزاء المختلفة من اللسان.

3.8. كيفية عمل الجهاز الصوتي:

يتم التعبير عن الكلام عن طريق حبس وتعديل تدفق الهواء من خلال الشفاه واللسان والأسنان والفك والحنك. (الشكل 3.1)



الشكل 3.1: تمثيل الجهاز الصوتي

1.3.8. انتاج الموجة المزمارية (الحنجرة):

يلتقي الهواء الناتج عن الضغط الزائد في الرئتين بالعقبة الأولى وهي الاحبال الصوتية (مصدر الإثارة)، والتي تكون متجاورة مع بعضها البعض، وتحت تأثير الضغط تحت اللسان، تهتز هذه الحبال تاركة الهواء يمر عن طريق دفعات. هذه هي الطريقة التي تتشكل بها الموجة المزمارية.

ومن هنا يتشكل تردد التذبذب F_0 (التردد أو التوتر الاساسي). يتم تحديد هذه الأخير بواسطة الكتلة، وتوتر الحبال الصوتية والضغط تحت اللسان.

يمثل التردد الاساسي (*Pitch*) عدد اهتزازات الاحبال الصوتية في الثانية الواحدة، وتكون وحدة قياسه الهرتز ويرمز له بـ F_0 يتراوح في المتوسط من 70 هرتز إلى 150 هرتز للرجال ومن 150 إلى 350 هرتز للنساء وأما للأطفال فيكون من 350 الى 600 هرتز.

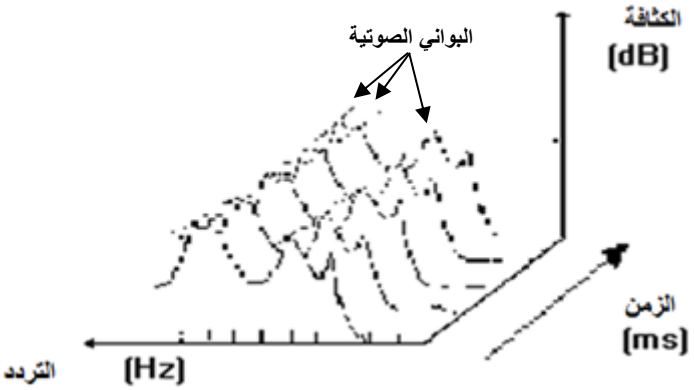
عندما تهتز الحبال الصوتية، تنتج أصوات تسمى الأصوات المجهورة أو الأصوات الرنانة على عكس الأصوات المهموسة أو الصماء التي تشبه الضجيج الفارغ.

2.3.8. وظيفة رنان المسالك الصوتية:

تطبع المسالك الصوتية الصوت المنتج بخصائص محددة تسمح بالتمييز بين الأصوات المختلفة وهذا وفقًا لوظيفتين هما:

- رنان الموجة الحلقية لإنتاج الحروف الصائتة.
- مولد الضوضاء أو الضجيج لإنتاج الحروف الصامتة.

يتم تعديل الموجة الحلقية خلال مرورها عبر القناة الصوتية، بحيث تحدد مواقع الفك واللسان التجاويف التي تعمل كصناديق رنين من خلال تعزيز مناطق معينة من الطيف الصوتي. ويطلق على الحد الأقصى لمنحنى استجابة التردد في القناة الصوتية بالبواني الصوتية. (الشكل 4.1)



الشكل 4.1: البصمة المحصل عليها عن طريق الترقب الخطي (LPC)

3.3.8. وظيفة مولد الضجيج في الجهاز الصوتي:

يمكن أن يلتقي تدفق الهواء إما عقبة جزئية مثل تضييق القناة الصوتية لتوليد ضجيج وضوضاء خاصة بالأصوات الاحتكاكية أو الرخوية أو التسريبية، أو عائقًا كاملاً ينتج عنه زيادة في الضغط وراء العائق (مكان توليد الاصوات) تليها الاسترخاء المفاجئ. هذه الظاهرة تتسبب في تكوين أصوات حبسية أو انفجارية.

4.8. البواني الصوتية (Formants):

تتميز الاستجابة الترددية للممر الصوتي بوجود ترددات تتمركز عندها الطاقة نسمي هذه الترددات بالبواني، توافق ترددات الطنين لمرشحات تمرير الحزمة ترددات هذه البواني. يمكن وضع هذه المرشحات على التوازي، أو على التسلسل أو بتشكيلة هجينة. يجري تحريض هذه المرشحات بمنبع شبه دوري (قطار نبضات) له تردد اهتزاز الأوتار الصوتية و/أو منبع ضجيج حين تتطلب الأصوات ذلك.

عندما يمر الصوت عبر مختلف تجويفات الجهاز الصوتي يتعرض للعديد من التغيرات المتعلقة بترددات رنين هذه التجويفات، كل الترددات القريبة من تردد الرنة يتم تضخيمها اما الباقي فتتلاشى، هذه الترددات المفخمة والقريبة من تردد التجويفات تسمى البواني الصوتية وتقاس بالهرتز وتمثل عن طريق الرموز: F_1، F_2، F_3... (الشكل 5.1)

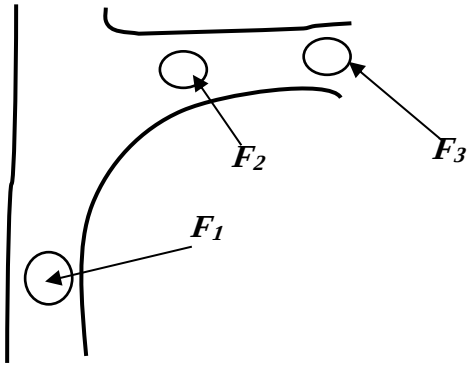
التردد الناتج عن رنين الصوت أثناء الكلام يعبر على مجموعة من الترددات المعززة للتردد الأساسي والتي تحدد طابع صوت ما:

F_1: يمثل التردد في التجويف الحلقي.

F_2: *يمثل التردد في التجويف الفمي.*

F_3: يمثل التردد في التجويف على مستوى الشفتان والاسنان.

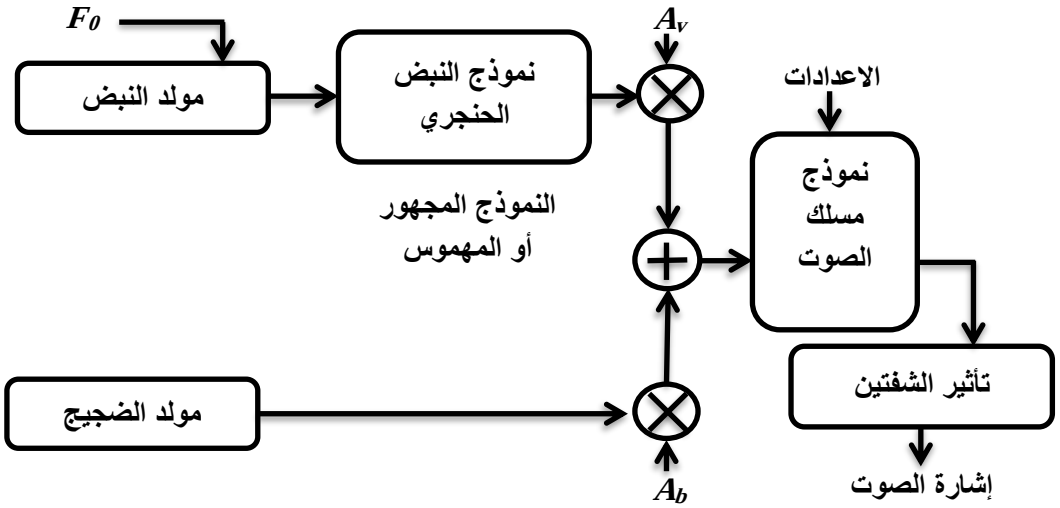
F_4: يمثل التردد في التجويف الانفي.



الشكل5.1: البواني الصوتية

5.8. نمذجة نظام إنتاج الكلام:

بالاعتماد على طريقة عمل الجهاز الصوتي الذي وصفناه سابقًا، يمكننا تحديد نموذج وظيفي يجعل من الممكن محاكاة آليات إنتاج الكلام وفهمها بشكل أفضل. (الشكل 6.1)



الشكل 6.1: النموذج الوظيفي لإنتاج الكلام

المعايير الاساسية في إنتاج الكلام هي:

- التردد الأساسي F_0.
- سعة التعبير الصوتي A_v.
- سعة الضجيج الفارغ A_b.
- معاملات المرشحات التي تقوم بنمذجة القناة الصوتية وتدفق الحنجرة وأثر الشفة.

الفكرة الأساسية في إنشاء هذا النموذج هي استقلالية مصادر الإثارة والمسالك الصوتية، هذه الفرضية هي التي تجعل من الممكن تحديد مفهوم وظيفة التنقل في القناة الصوتية، حيث تم نمذجة المصادر المختلفة للجهاز الصوتي بواسطة مولدات النبض ومولدات الضجيج الفارغ.

يتم تطبيق هذه المولدات المختلفة على مرشح ذي معاملات متغيرة مع مرور الوقت لترجمة التجويفات المختلفة في القناة الصوتية أثناء الكلام.

9. خصائص إشارة الكلام:

تكمن الصعوبة الكبيرة في التعرف التلقائي على الكلام من طبيعة عملية الاتصال بالكلام والخصائص الجوهرية لإشارة الكلام.

1.9. الاستمرارية:

اللغة الشفوية هي تَعاقب مستمر للأصوات دون الفصل بين الكلمات. حيث يتوافق الصمت عمومًا مع فواصل التنفس التي يكون حدوثها عشوائيًا. إلا أنه قد يكون هناك فترات صمت مُتعمد في منتصف الكلمة أو عدم وجود فاصل زمني إطلاقا بين كلمتين متتاليتين. لذلك، من الصعب جدًا تحديد بداية ونهاية الكلمات التي تشكل الجملة.

2.9. التغير:

يقدم الخطاب تقلبًا كبيرًا جدًا ناتجًا عن عدة عوامل، وهذا بالنسبة الى متكلم واحد أو عدة متكلمين. من بين هذه العوامل، الاضطرابات الناجمة عن الميكروفون (حسب النوع والمسافة والاتجاه) والبيئة (الضجيج، الارتداد).

هذه الاختلافات لا تؤدي إلى أصوات جديدة، لأنها لا تحمل أي معلومات دلالية. وهكذا، تظهر الأصوات في العديد من الأشكال اللفظية، تسمى البديل الصوتي أو الآلفون (*Allophone*) أو المتغيرات الصوتية.

1.2.9. التغير الخاص بالمتكلم:

ويُقصد به إنتاج إشارة كلام مختلفة من نفس المتكلم لنفس الكلام، وهذا راجع لعدة أسباب منها:

- التعب.
- الحالة العاطفية للموضوع: تؤثر العاطفة مثل الخوف على بصمة الصوت.
- الأمراض التي تصيب أعضاء الصوت.

2.2.9. التغير ما بين المتكلمين:

تظهر اختلافات صوتية كبيرة في كلمة ينطق بها عدة متحدثين. حيث أنه يمكن أن تحدث اختلافات كبيرة على التعبير الصوتي للكلمة حسب العمر، الجنس، الأصل الجغرافي والخلفية الاجتماعية.

3.2.9. التغير الخاص بالسياق:

يمكن تعديل حركات النطق لتقليل الجهد المبذول لتحقيقها من خلال وضع معين للنطق، أو توقع موضع مستقبلي. تُعرف هذه التأثيرات بالاختزال والاستيعاب.

3.9. تداخل الكلام أو التداخل اللفظي (Coarticulation):

ويقصد به تأثر الصوت خلال سياق الكلام بالصوت المجاور له، إذ أن القواعد الانتاجية للكلام هي التي تخلق هذا النوع من الظواهر، حيث أن الصوت المنتج يتأثر بشدة بالأصوات التي تسبقه وكذا الاصوات التي تليه بسبب توقع الحركات اللفظية الموالية.

4.9. التكرار:

يوجد الكثير من التكرار في إشارة الكلام، حيث تتطلب معالجتها الالية تقليل هذا التكرار إلى الحد الأدنى من أجل تقليل مساحة الذاكرة اللازمة ومدة المعالجة، وهذا ما يُحتم علينا القيام بعملية المعالجة بصورة متزامنة.

على العكس من ذلك، يجب ألا يكون التدفق منخفضًا جدًا للحفاظ على نسبة إشارة جيدة في الضوضاء. يوجد بالفعل تناقض كبير بين تدفق الإشارة المسجلة والكمية المفيدة لمهمة التعرف.

تحتوي الإشارة الصوتية في المجال الزمني على تكرار يجعل من الضروري معالجتها قبل أي محاولة للتعرف عليها. حيث يوجد عدم تناسق كبير بين تدفق الإشارة المسجلة وكمية المعلومات المطلوبة لمهمة التعرف.

5.9. حرية كبيرة في اللغة المنطوقة:

إن بناء الجملة في اللغة المنطوقة يكون أقل صرامة بشكل عام من اللغة المكتوبة، بحيث أن برامج التعرف الالي لابد لها أن تأخذ ذلك في الاعتبار في حالة استعمالها.

10. العناصر الصوتية:

من أكثر المصطلحات المستعملة في علم الأصوات:

1.10. الفونيم:

الفونيم أو كما يسمى الصُّوَيْت أو الصوتة هو مجموعةُ أصواتٍ متماثلةٍ صوتيًّا في توزيعٍ تكامليٍّ أو تغير حر والفونيم هو أصغر وحدة في الصوت غير دالَّة كالحركات مثلًا.

تنقسم الصُّوَيْتات إلى صُوَيْتات قِطعيَّة تشمل الصوامت والصوائت. وصُوَيْتات فوق قِطعية تشمل النبرات والفواصل والنغمات. وتختلفُ اللغات بعدد الصُوَيْتات وليست كلُّ الصُوَيْتات موجودة في كل اللغات، وقد يكون الصُّوَيْت نفسه في لغتين مختلفتين ولكن يختلف بمكان النطق (مخرجه)، وما قد يكون صُوَيْت في لغةٍ قد يكون ألفونًا في لغةٍ أخرَى.

2.10. الآلفون:

هو عنصر في صُوَيْت ما يتماثل صوتيًّا مع سواه من ألفونات الصُّوَيْت ذاته ويتوزَّع معها تكامليًّا أو يتغيَّر معها تغيُّرًا حرًّا.

3.10. المورفيم:

هو أصغر وحدة دالَّة في الصوت، أي أنه أصغر وحدة لغوية مجردة ذات معنى.

فمثلا كلمة (المزارعون) تتألف من عدد من المورفيمات: ال "تعريف"، (زرع) مورفيم معجمي يدل على "الزراعة، (مُزارع) "اسم فاعل"، (ون) تمثل ثلاثة مورفيمات :الجمع والجنس والإعراب.

11. تصنيف أصوات اللغة:

من وجهة نظر لغوية، يمكننا القول أن إنتاج الأصوات أو الكلمات يكمن في إنتاج جميع سلاسل الأصوات التي تشكل الكلمة. تشكل هذه الأصوات وحدات صوتية مصنفة وفقًا لنماذج الحركات (حروف العلة) والحروف الساكنة وأشباه الحركات. [Amrouche, 1995]

يمكننا تقسيم أصوات الكلام في فئات صوتية، وفقًا لموضع نطقها (مخرجها). نميز بشكل عام بين ثلاث فئات رئيسية:

- المُصوتات (الحركات)
- شبه المُصوتات (اللينة)
- الحروف الساكنة (الصامتة).

إذا كان الجهاز الصوتي مفتوحًا بشكل كافٍ لتمرير الهواء الذي تدفعه الرئتان من خلاله دون عائق، يتم إنتاج المُصوتات (الحركات). على العكس من ذلك، إذا كان مرور الهواء يضيق في بعض الأماكن، أو حتى إذا تم إغلاقه مؤقتًا، فإن هذا المرور القسري يؤدي إلى حدوث ضجيج أين يتم إنتاج حرف ساكن (صامت).

تجمع الأحرف شبه المتحركة (شبه المُصوتات) /و/ و/ي/ بعض خصائص المُصوتات وكذا الحروف الساكنة، حيث انها تنتج عند حدوث احتكاك نموذجي وهذا بالاسترخاء المفاجئ عند مخرج الحروف الساكنة.

1.11. المميزات الصوتية:

تعتبر الصفات أو المميزات الصوتية العمود الفقري لعلم الأصوات الهيكلية، وتتمثل في الاختيار بين قطبين العائق (العقبة) والمكون الصوتي، لكنها مرتبطة بصورة أكبر بمفهوم الميزات الصوتية وهذا لأنها مُعرفة على أساس صوتي.

يتم التعرف على هذه السمات بشكل منفصل ودائما حسب الترتيب التالي:

- ميزات النمط.
- ميزات الجهر.
- ميزات المكان.

يعتمد نموذج ر.جاكوبسون على اثني عشر ميزة عالمية، هذا النموذج يعتمد على تحليل ثنائي غير متجانس. ويتم تعريف السمات أو الميزات على ثلاث قواعد مختلفة:

- الصوتيات: مفخمة/مخففة.
- النطقية/اللفظية: أنفية/فموية.
- مقطعي: صائت/ساكن.

يشكل الإدراك الصوتي وإنتاج الكلام توليفًا ديناميكيًا يعمل على أساس المعلومات المستخرجة من الإشارة. تحمل الإشارة الصوتية مؤشرات. يتم التعرف على الميزات الصوتية في الذاكرة على المدى القصير، وهي عملية معالجة عن طريق التجريد.

أي انشاء لنظام كشف السمات او الصفات المميزة يجب أن يعتمد اكتشاف الإشارات الصوتية وشكلها الثابت.

2.11. المُصوتات (الحركات / حروف العلة):

تختلف المُصوتات عن جميع الأصوات الأخرى في درجة فتح القناة الصوتية، فلما يكون الجهاز الصوتي مفتوحًا بشكل كافٍ لتمرير الهواء الذي تدفعه الرئتان من خلاله دون عائق، يتم إنتاج حرف متحرك (صائت)، يتم بعد ذلك تقليص دور الفم إلى تعديل هذا المولود الصوتي. على العكس من ذلك، إذا ضاقت الممرات في أماكن، أو حتى إذا أغلقت بشكل مؤقتٍ، فيُؤدي المرور القسري للهواء إلى حدوث ضوضاء، فيتم إنتاج حرف ساكن (صامت). في هذه الحالة، يكون الفم عبارة عن عضو إنتاج بحد ذاته.

وعليه فان المُصوت يتميز بمرور حر للهواء في القناة الصوتية، ومع اهتزاز الحبال الصوتية يتم التعبير عن جميع حروف العلة.

يتم التمييز بين المُصوتات بشكل رئيسي عن بعضها البعض من خلال مخرجها (موضع النطق)، والفتحة الصوتية، والأنف. وبالتالي، فإن التمييز بينها يتم حسب موقع كتلة اللسان، وعليه فإننا نجد الحركات الأمامية، والحركات الوسطى، والحركات الخلفية. ووفقًا للتباعد بين العضو والمخرج، فيكون لدينا حركات مغلقة وحركات مفتوحة.

تتميز الحركات بشكل رئيسي عن بعضها البعض من خلال:

- نقطة التلفظ/النطق (أمامي، خلفي).
- طريقة التلفظ/النطق (فموي، أنفي).
- درجة الفتحة الصوتية (مفتوحة، مغلقة).
- شكل الشفاه (ممتد، مدور).

لابد ان نشير الى ان معايير أخرى قد تكون ضرورية للتمييز بين المصُوتات (الحركات)، مثل شفراتها ومدتها وتوترها وثباتها وتهميزها وحتى اتجاه حركة الهواء اثناء نطقها.

تعتمد بصمة المُصوتات على اختلاف العناصر التالية:

- عدد الرنانات (عن طريق الفم والشفة والأنف).
- شكل مرنان الفم.
- حجم مرنان الفم.

3.11. الحروف الساكنة (الصامتة):

تتميز الحروف الساكنة بإغلاق:

- جزئي للقناة الصوتية أو الانقباض: انقباضي أو احتكاكي.
- كلي للمسالك الصوتية (انسداد): حبسي أو وقفي.

للحروف الساكنة علاقة بالمميزات التالية: الأنفية/الشفوية، المجهور/المهموس.

نقوم بتصنيف الحروف الساكنة بشكل أساسي وفقًا لوضع النطق، لموضع النطق، والتسلسل الأنفي.

1. **وضع النطق:** يعرف وضع النطق بعدد من العوامل التي تعمل على تغيير طبيعة تيار الهواء الخارج من الرئتين وهي:
   - تدخل الحبال الصوتية أو وضعية الاهتزاز: التلفظ الصوتي.
   - إغلاق لحظي لمرور الهواء تليها فتحة مفاجئة (انفجار): التلفظ الحبسي أو الوقفي.
   - تضييق ممر الهواء الذي ينتج ضجيج الاحتكاك أو التسرب: التلفظ الاحتكاكي أو الرخوي او التسريبي.
   - خفض موقف سقف الحنك: الاصوات الأنفية.
   - ملامسة اللسان في منتصف قناة الفم، فيخرج الهواء من الجانبين: التلفظ الجانبي.
   - سلسلة من الانسدادات القصيرة والمنفصلة للهاة: التلفظ المهتز.
2. **موضع النطق:** توجد نقطة التلفظ في تجويف الفم من خلال عرقلة ممر الهواء. ويمكننا أن نقول إن نقطة التلفظ هي المكان الذي يتم فيه وضع اللسان لعرقلة مرور الهواء في تجويف الفم. ونجد نقطة التلفظ في الأماكن التالية:
   - الشفاه (اللفظ الشفوي): مثل الباء والميم.
   - الأسنان (اللفظ الأسناني): مثل الثاء والذال والظاء.
   - الشفتين والأسنان (اللفظ الشفوي الأسناني): مثل الفاء.
   - الأسنان واللثة (اللفظ الأسناني اللثوي): مثل التاء والدال والضاد والطاء واللام والنون.
   - اللثة (اللفظ اللثوي): مثل الراء والزاي والسين والصاد.
   - الحنك (اللفظ الحنكي): مثل الياء والجيم والشين.
   - اللهاة (اللفظ اللهوي): مثل القاف.

بالنسبة للحروف الساكنة، قد تكون هناك حاجة إلى معايير أخرى للتمييز بينها: العضو اللفظي، مصدر الرنين، الشدة، التنفس، الحنك واتجاه حركة الهواء. ويؤدي التمييز بين طريقة التلفظ إلى صنفين وهما: الأصناف الاحتكاكية (التسريبية) والأصناف الانفجارية (الحبسية).

تتميز الحروف الساكنة (الصوامت) الاحتكاكية والتي تسمى أيضًا الحروف الرخوة، بضوضاء للاحتكاك الناتج عن المرور السريع للهواء مع التضييق عند نقطة التلفظ (الحنك أو الأسنان أو الشفاه).

تتميز الحروف الاحتكاكية المهموسة بتدفق مضطرب للهواء عبر الحلق، في حين أن الحروف الاحتكاكية المجهورة تجمع بين مكونات التحريض الدورية والإضطرابية إذ أن الاحبال الصوتية تفتح وتغلق دوريًا من دون إغلاق كامل.

حيث يتم التعرف على الحروف الساكنة الانفجارية او الانسدادية بفضل الصمت الناتج عن الإغلاق التام للقناة الصوتية، وهذا الانفجار لديه ثلاث مراحل:

1. الإغلاق.
2. الانسداد التام عند الإغلاق.
3. الانفجار والاسترخاء.

الحروف الإنسدادية (الحبسية) تتوافق بشكل أساسي مع الأصوات الديناميكية. حيث يتم إنشاء ضغط عالي متزايد للهواء عند نقطة معينة في القناة الصوتية (والتي قد تكون الحنك أو الأسنان أو الشفاه)، ثم يتم إطلاقها فجأة، وتسمى فترة الانسداد بمرحلة الامساك.

في حالة الحروف الصوتية الجهرية، يتم إصدار صوت منخفض التردد عن طريق اهتزاز الحبال الصوتية أثناء مرحلة الامساك، أما بالنسبة للحروف الصوتية المهموسة، فالإمساك هو الصمت.

تجمع الصوائت/الحروف الساكنة السائلة بين الانسداد والفتح المتزامن للقناة الصوتية. وهي تتميز بدرجة من الصوت تشبه صوت الحركات.

تشمل الصوائت الأنفية تجاويف الأنف عن طريق خفض غشاء الحنَك، حيث أنها تنتج عن طريق تدفق الهواء الصوتي في قناة الأنف.

4.11. معايير تصنيف الحركات:

هناك عدة معايير تستعمل لتصنيف الحركات وهي:

- **درجة الفتحة:** هي الحد الأدنى للمسافة بين الحنك وأعلى نقطة في اللسان. حيث توجد أربع حالات: مغلقة، نصف مغلقة، نصف مفتوحة ومفتوحة.
- **مخارج الحروف:** تسمح لنا بالتمييز بين الحركات الأمامية (كتلة الجزء الخلفي من اللسان في منطقة ما قبل الحنك أو ما قبل اللثة) أو الخلفية (بعد الحنكيّة أو اللهوية) والوسطى (الحنكيّ – الحنجري).

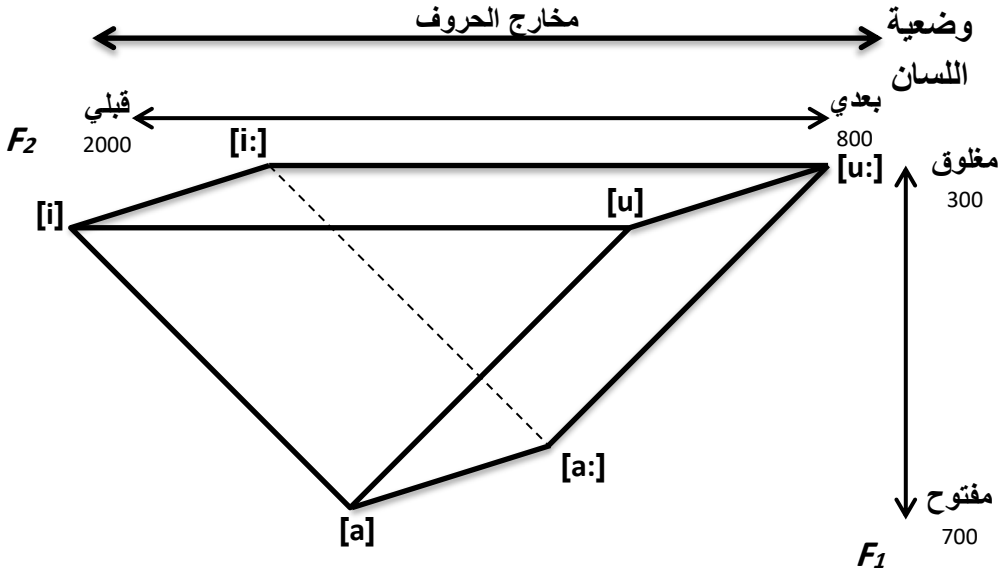
- يتعلق التقريب بوجود مرنان (شفوي) ثالث يتشكل عند مخرج مرنان الفم إذا تم وضع الشفاه باتجاه الأمام. يسمح لنا معيار الشفتين بتمييز حروف العلة المدورة (الشفوية) عن الحروف غير المدورة (الممتدة، المتباعدة).
- **الأنفية:** يكون هذا المعيار موجودًا في حالة تليين سقف الفم بتنزيله، فيمر الهواء في تجويف الأنف، فتكون هناك مقاطعة حروف العلة الشفوية لحروف العلة الأنفية (وجود صدى الأنف).

5.11. تمثيل الحركات في المثلث الصوتي:

يتم تمثيل الحركات على مخطط يتكون من محورين أساسين هما الثوابت F_1 و F_2، وينشأ مثلث تمثل نهاياته الحركات [a]، [i]، [u] و هي على التوالي الفتحة، الكسرة والضمة.

يمثل هذا المثلث مواضع اللسان في الفم على طول محورين: [الشكل 7.1]

- القبلي والبعدي أو الأمامي والخلفي.
- مغلوق ومفتوح.



الشكل7.1 : مثلث مُصوتات اللغة العربية

6.11. أشباه المصوتات (أنصاف الصوائت):

يمكن تسميتهما أيضاً بأنصاف الصوامت وهما: صوتا الواو /و/ والياء /ي/ الصامتين، حيث أنه عند النطق بهما يمر الهواء محدثاً نوعاً خفيفاً من الاحتكاك يقربهما من الصوامت (وبناء عليه يصنفان مع الصوامت)، كما يحدث أن يمر الهواء بشيء من الحرية يقربهما من الصوائت (المُصوتات).

تجمع أنصاف الحركات بين خصائص معينة من حروف العلة والحروف الساكنة. حيث يكون موضع حروف العلة مفتوحًا إلى حد ما، لكن التخفيف المفاجئ لهذا الفتح عن طريق موضع اللسان الذي يؤدي إلى إغلاق جزئي للقناة الصوتية ينتج احتكاكًا نموذجيًا للحروف الساكنة، فيتج عن هذا النسق أصوات يكمن تصنيفها كمصوتات كما يمكن اعتبارها صوامت. مثل: أيْن، كوْن.

12. الخاتمة:

في هذا الفصل حاولنا دراسة الصوت من جانبه الفيزيائي، دون التطرق الى المعاني التي يولدها هذا الصوت، لأنه يوجد من الأصوات ما يصدر لكن دون أن يحمل معنى، مما يعني أن صدوره لا يعبر عن شيء ولذلك لا يمكن اعتباره أداة تواصل، لكن إذا ارتبط هذا الصوت بلغة معينة يصبح كأداة تعبير عنها لأن اللغة على حد قول ابن جني "أصوات يعبر بها كل قوم عن أغراضهم"، أي إنما اللغة صوت يعبر عن معنى.

ومن بين أهم اللغات في العالم اللغة العربية، لسان العرب ولغة القرآن، فماهي الخصائص الصوتية للغة العربية؟

الفصل الثاني

الخصائص الصوتية للغة العربية الفصحى

1. مقدمة:

تختلف أساليب التعبير بالنسبة لمختلف الشعوب على حسب السنتهم والتي هي مرتبطة تمام الارتباط بلغاتهم، فيُمَكِّنُ اللسان الانسان من التعبير عن تصوراته عن طريق الكلام، كشكل من اشكال التعبير، وهذا بالاعتماد على لغة معينة، وتأخذ للغة شكلان اساسيان هما الكتابي والصوتي، فاللغة في نشأتها الأولى فكانت عبارة عن أصوات، أما الشكل الكتابي لها فما هو إلا تمثيل للغة المنطوقة.

وباختلاف اللغات فلكل منها خصائص معينة يجب الالتزام بها، مثلا الخصائص النحوية والصرفية والدلالية الى غير ذلك من الخصائص والضوابط اللغوية الكتابية، أما الخصائص الصوتية فيكمن دورها في ترجمة هذه الكتابة الى اصوات، ولعل من بين اهم اللغات وأقدمها اللغة العربية، لغة لسان العرب والتي تعتبر غنية جدا بالمقارنة باللغات الاخرى، وقد كرمها الله عز وجل وجعلها لغة القرآن الكريم ولغة اهل الجنة، لا وبل أكثر من ذلك فهي تعتبر كلغة للعلوم والادب والتعليم، على مر العصور يشهد لها التاريخ قبل كل شيء.

ومع مرور الزمن تغير لسان العرب واختلف على حسب المناطق الجغرافية، فظهرت اللهجات المختلفة في اساليب التعبير، ولكنها بقيت محافظة على أصلها ومصدرها، حيث تبقى اللغة العربية الفصحى من بين العوامل الموحدة للسان العربي، ولعل ما يميز اللغة العربية عن بقية لغات العالمية الأخرى هو قدرتها العالية والدقيقة والراقية على التعبير، حيث ان ترجمة الاحاسيس والمشاعر باللغة العربية لا يضاهيه أي تعبير بلغة اخرى مهما بلغت شدة رقيها.

أما من جهة اللسان، فاللسان العربي ولله الحمد يعد لسانا مرننا عذبا سلسا على الاذن، يتميز عن ألسنة اللغات الاخرى بمخارج حروفٍ غنية خاصة به لا وجود لها في اللغات العالمية أخرى.

2. النظام الصوتي للغة العربية الفصحى:

يعرّف النحويون العرب القدامى النظام الصوتي للغة العربية على أساس دراسة الفئات النحوية المرتبطة بالمفاهيم الفسيولوجية والفيزيائية للكلام والتي تكمن في الحركة التي تتمثل في الاصوات الصائتة والسكون الذي يمثل الاصوات الصامتة، وهذا ما يميزها عن بقية اللغات الاخرى، فالحركات في اللغة العربية لا تصنف كحروف بل كأشكال نطق لهذه الحروف.

لا تملك اللغة العربية كتابة صوتية واحدة، لأنه من الممكن ان تتغير نفس الصورة الصوتية وفقًا للسياق. ومثلها مثل بقية اللغات السامية الأخرى، فكتاباتها متناسقة. وتتكون أصوات اللغة العربية من:

1. ثمانية وعشرون حرفا منها خمسة وعشرون حرف صامت وثلاثة أحرف علة، والتي قد تتخذ أشكالًا مختلفة قليلاً اعتمادًا على موضعها في الكلمة سواء في الموضع المعزول أو الأولي أو المتوسط أو الأخير.
2. ثلاث حركات وهي الضمة /ُ/ والفتحة /َ/ والكسرة /ِ/ ويرمز لها بـ [u]، [a]، [i]، وتمثل هذه الحركات في اللغة العربية الصوائت، وهي لا تكتب كالحروف لكنها مرتبطة بها لكنها تكتب كرموز عليها وهذا ما يعرف في اللغة العربية بالشكل.
3. ثلاث حركات طويلة وتسمى كذلك حروف المد، وهي الضمة الطويلة والفتحة الطويلة والكسرة الطويلة [ī]، [ū]،[ā] أو [i:]، [u:]، [a:].
4. وضعية الصمت وتسمى السكون /ْ/.

1.2. الاصوات الصامتة والاصوات الصائتة:

تحدث الاصوات الصائتة عندما ينطلق الهواء معها انطلاقا تاما بحيث لا يعوقه عائق في اي منطقة من مناطق النطق، وهذا خاص بحركات المد والحركات القصيرة.

أما الاصوات الصامتة تحدث عندما ينحبس الهواء في اثناء النطق بها في اية منطقة من مناطق النطق انحباسا كليا او جزئيا، فالانحباس الكلي في مثل صوت (التاء) والجزئي في مثل صوت السين. [مجدي إبراهيم، 2001]

1.1.2. الأصوات الصامتة:

وهي الاصوات التي تتعلق بمخرج معين، حيث يعترض الهواء الخارج من الحنجرة أثناء أداء الصوت المراد اختياره، ويشكل هذا النوع معظم أصوات العربية، عدا الحركات القصيرة والطويلة، وللصامت أصوات مختلفة، فقد سماه البعض الصوت الساكن، أو الصوت الصحيح، مثل: /ب/، /ت/، /س/، /ف/ ... الخ. [جحافي سفيان، 2016]

ولعل ما يميز الصوائت عن الحركات ما يلي:

- في كل اللغات تعد الصوامت أكثر من الصوائت.
- للصامت مكان نطق محدد، أما الصائت فليس له ناطق محدد، ولا مكان نطق محدد.
- الصامت مهموس أو مجهور، أما الصائت فمجهور فقط.

2.1.2. الأصوات الصائتة:

ويسمى كذلك الصوت المتحرك، أو صوت العلة، وهي الاصوات التي لا يعارضها عضو من أعضاء النطق، فيكون الصوت اثناء نطقها ممتدا حرا، لا يعوقه عائق حتى ينفذ، وتتمثل في الفتحة والضمة والكسرة، ويمثل هذا النوع: أصوات المد أو اللين أو العلة (الالف، الواو، والياء، حال سكون الواو والياء). [جحافي سفيان، 2016]

يتم تعريف حرف العلة او الحركة على أنه حركة جوية وعضوية يحتاج الى حرف لحدوثه في سلسلة صوتية متصلة.[Hadj-Salah,1971]

يحتوي نظام حروف العلة في اللغة العربية الفصحى على أحرف العلة الشفوية فقط التي تتم دراسة خصائصها وفقًا لمعيارين هما: الصوت والتعبير.

2.2. الأبجدية الصوتية للغة العربية الفصحى:

يرمز علماء الصوت إلى أصوات اللغة عن طريق العديد من الرموز المتفق عليها تسمى الرسوم الصوتية أو الكتابة الصوتية.

وحتى يتمكن اللغويون من التعرف على الاصوات اللغوية وضعت المنظمة العالمية للصوتيات رموزا لجميع الاصوات في اللغات البشرية كافة وتسمى الابجدية الصوتية العالمية (API: *Alphabet Phonétique International*)، وفيما يلي جدول يمثل الكتابة الصوتية لمختلف حروف اللغة العربية الفصحى وفقا لهذه الابجدية: (الجدول 1.2)

الحرف	الترميز العربي	الابجدية الصوتية العالمية (API)
/ء/	[’]	[ʔ]
/ب/	[b]	[b]
/ت/	[t]	[t]
/ث/	[ṯ]	[θ]
/ج/	[ǧ]	[ʤ]
/ح/	[ḥ]	[ħ]
/خ/	[ẖ]	[x]
/د/	[d]	[d]
/ذ/	[ḏ]	[ð]
/ر/	[r]	[r]
/ز/	[z]	[z]
/س/	[s]	[s]
/ش/	[š]	[ʃ]
/ص/	[ṣ]	[sˤ]
/ض/	[ḍ]	[dˤ]
/ط/	[ṭ]	[tˤ]
/ظ/	[ḍ]	[ðˤ]
/ع/	[ɛ]	[ʕ]
/غ/	[ġ]	[ɣ]
/ف/	[f]	[f]
/ق/	[q]	[q]
/ك/	[k]	[k]
/ل/	[l]	[l]
/م/	[m]	[m]
/ن/	[n]	[n]
/ه/	[h]	[h]
/و/	[w]	[w]
/ي/	[y]	[j]

الجدول 1.2: الابجدية الصوتية للغة العربية الفصحى

إن أصل صوتيات اللغة العربية ترتكز أساسا في معظم الحالات على الحروف الصائتة او الحركات المفخمة، البلعومية والحنجرية، حيث تعطي قيمة خاصة للغة العربية.

3.2.طبيعة الأصوات العربية من حيث صفاتها:

تتميز أصوات اللغة العربية بصفات وخصائص مختلفة، تعتمد على العديد من العوامل ولعل من اهمها، كيفية خروج الهواء عند النطق بها وحالة الوترين الصوتيين عند النطق بها وكذلك حالة مؤخرة اللسان أثناء النطق بها.

4.2.طبيعة الأصوات من حيث كيفية خروج الهواء عند النطق بها:

بالاعتماد على كيفية خروج الهواء عند النط بالحروف يمكننا تصنيفها كما يلي: [إدريس جوهر، 2014]

1.4.2.الأصوات الانفجارية:

هي الأصوات التي ينحبس معها الهواء من الرئتين خلف التقاء أعضاء النطق عند مخرج معين، ثم ينطلق بشكل انفجار طفيف عندما ينفرج هذا الالتقاء. بعبارة أخرى إنها أصوات تنطق عندما ينحبس الهواء من الرئتين خلف الانسداد في المخرج ثم ينطلق بشدة محدثا صوت شبيه بالانفجار. وتسمى أيضا بأصوات شديدة أو أصوات وقفية، وهي ثمانية أصوات: /ب/، /ت/، /د/، /ض/، /ط/، /ك/، /ق/، /ء/، يمكن جمعها تسهيلا للحفظ في اللفظ: "تبدأ كقط ض".

2.4.2.الأصوات الاحتكاكية:

هي الأصوات التي يحتك معها الهواء من الرئتين نتيجة تضييق مجراه عند مخرج معين. بعبارة أخرى إنها أصوات تنطق عندما يصادف تيار الهواء من الرئتين تضييقا (لا انسداد) في المخرج فيمر في نقطة هذا التضييق باحتكاك. تسمى هذه الأصوات أيضا بالأصوات الرخوة أو الأصوات الاستمرارية، وهي 13 صوتا:

/ث/، /ح/، /خ/، /ذ/، /ز/، /س/، /ش/، /ص/، /ظ/، /ع/، /غ/، /ف/، /ه/، يمكن جمعها في كلمات "خذ شط، هز سعف، صح غث".

3.4.2. الأصوات المزدوجة:

هي أصوات يصادف معها تيار الهواء من الرئتين انسدادا في المخرج فينحبس كما يحصل في الأصوات الانفجارية، ثم يتحول هذا الانسداد إلى التضييق فيمر الهواء باحتكاك كما يحصل في الأصوات الاحتكاكية. بعبارة أخرى إنها أصوات يبدأ النطق بها انفجاريا وينتهي احتكاكيا، أي يبدأ بانحباس الهواء خلف الانسداد وينتهي بمروره عبر التضييق. وتسمى أيضا بالأصوات المركبة أو المجزية. ومن هذه الأصوات الجيم /ج/.

4.4.2. الأصوات الجانبية:

هي الأصوات التي تنطق عندما يتجنب تيار الهواء من الرئتين المرور بنقطة الانسداد أو التضييق في الخرج، ويمر من جانب تجويف الفم. والصوت الجانبي الوحيد في اللغة العربية هو اللام /ل/. الأصوات الجانبية مثل الأصوات الانفجارية في أن تيار الهواء ينحبس معها خلف الانسداد، إلا أنها تختلف عنها في أن تيار الهواء لا ينتظر انفراج الانسداد للمرور وإنما يتجنبها ويمر من جانبي التجويف الفموي.

5.4.2. الأصوات الأنفية:

هي الأصوات التي تنطق عندما يمر تيار الهواء من الرئتين بتجويف الأنف لا بتجويف الفم. ذلك لأن عند النطق بهذه الأصوات ينخفض الطبق (أقصى الحنك/الحنك اللين) مسببا حدوث الحاتين:

- انسداد التجويف الفموي ولا يمر به تيار الهواء كما هو الحال في الأصوات الانفجارية.
- انفراج التجويف الأنفي فيمر به تيار الهواء ويخرج من الأنف. والصوت الأنفي اثنان هما الميم /م/ والنون /ن/.

6.4.2. الصوت التكراري أو المكرّر:

هو صوت يحدث عندما كان التضييق غير ذي استقرار فتكرر ملامسة زلق اللسان للثة. بعبارة أخرى إنه صوت ينطق بأن تتكرر ضربات ذلق اللسان للثة حين ملامسته للثة في وضع يسمح للهواء بالمرور عند نقطة الالتقاء. والراء /ر/ هو الصوت التكراري الوحيد في اللغة العربية.

وأطلق علماء الأصوات على هذه الأصوات الأخيرة /ل/، /م/، /ن/، /ر/ اسم "الأصوات المتوسطة" أو "الأصوات البينية" لما لها من سمات الانفجار أو الشدة والاحتكاك أو الرخاوة على السواء أو لتوسطها بين هذين القسيمين، وجمعوها في قولهم "لم نر".

5.2. طبيعة الأصوات من حيث حالة الوترين الصوتيين عند النطق بها:

ومن هذه الناحية تنقسم الأصوات العربية إلى ما يلي: [إدريس جوهر، 2014]

1.5.2. الأصوات المجهورة:

وهي الأصوات التي يهتز الوتران الصوتيان عند النطق بها، مما يعني أن الوترين الصوتيين أثناء النطق بهذه الأصوات في حالة التماس والابتعاد المتكررين. وهي 13 صوتا: /ب/، /د/، /ض/، /ج/، /ذ/، /ز/، /ظ/، /غ/، /ع/، /م/، /ن/، /ل/، /ر/. وتضاف إلى هذه الأصوات (الصامتة) جميع الأصوات الصائتة أو الحركات. [أنيس ابراهيم، 1999]

2.5.2. الأصوات المهموسة:

وهي الأصوات التي لا يهتز الوتران الصوتيان عند النطق بها، مما يعني أن أثناء النطق بهذه الأصوات تكون فتحة المزمار في حالة انفتاح فلا يتلاقى الوتران الصوتيان. وهناك اختلاف بين العلماء في تحديد الأصوات المهموسة، فقال القدماء منهم إنها عشرة هي: /ت/، /ث/، /ح/، /خ/، /س/، /ش/، /ص/، /ف/، /ك/، /ه/، وجمعوه في قولهم "سكت فحثه شخص". أما المحدثون منهم فأضافوا ثلاثة أصوات أخرى هي: /ط/، /ق/، /ء/، لتصبح عددها 13 صوتا يمكن جمعها في التعبير "أَشَخْصٌ حَثَّه سَكَتَ فَقَط؟"

6.2. طبيعة الأصوات من حيث حالة مؤخرة اللسان أثناء النطق بها:

هذا المعيار يُمكننا من تصنيف الأصوات العربية إلى ما يلي:

1.6.2. الأصوات المطبقة (المفخمة):

وهي الأصوات التي عند نطقها يرتفع مؤخر اللسان تجاه الطبق (الجزء الرخو أو اللين من سقف الحنك) ولهذا تسمى هذه الظاهرة بالإطباق. والإطباق يؤدي إلى تفخيم الصوت ولهذا تسمى هذه الظاهرة أيضا بالتفخيم. ويحدث مع الإطباق تضييق في الحلق ولهذا تسمى هذه الظاهرة بالتحليق. وعلى ذلك تسمى الأصوات المنطوقة بهذه الطريقة بالأصوات المطبقة، أو المفخمة، أو المحلَّقة، وهي أربعة: /ص/، /ض/، /ط/، /ظ/.

تحدث مع النطق بهذه الأصوات ظاهرة الإطباق، وهو حركة مصاحبة شائبة للنطق الحادث في مخرج آخر وتنتج عنه قيمة صوتية معينة تلون الصوت المنطوق برنين خاص.

بعبارة أخرى فإن الإطباق يحدث مصاحبا للنطق بالأصوات في مخارج غير الطبق، بهذا تختلف الأصوات المطبقة عن الأصوات الطبقية. أما الأصوات المطبقة فمخارجها لا علاقة لها بالطبق: فالصاد /ص/ مخرجه لثة، والضاد /ض/ والطاء /ط/ مخرجهما أسنان ولثة، والظاء /ظ/ مخرجه أسنان. ولكنها مطبقة لأن النطق بهذه الأصوات في مخارجها يصاحبه ارتفاع مؤخر اللسان إلى الطبق. أما الأصوات الطبقية فمخرجها الطبق مثل: /خ/، /غ/، /ك/، /و/، ويرتفع مؤخر اللسان إلى الطبق عند النطق بها، ولكن لا تسمى هذه الأصوات مطبقة لأن هذا الارتفاع ليس حركة مصاحبة للنطق في مخرج آخر إنما هو حركة النطق في المخرج الطبقي بعينه.

فمثلا في النطق بالضاد /ض/ المطبقة يرتفع مؤخر اللسان إلى الطبق مصاحبا للنطق بها في مخرجها (الأسنان واللثة). أما في النطق بالغين /غ/ الطبقية فيرتفع مؤخر اللسان إلى الطبق كعملية النطق بها وليس مصاحبا لعملية النطق بالأصوات في مخارج أخرى.

2.6.2. الأصوات المرققة:

وهي الأصوات التي عند نطقها لا ترتفع مؤخرة اللسان تجاه الطبق، والأصوات المرققة تشمل جميع الأصوات ما عدا الأربعة المفخمة السابق ذكرها.

3.6.2. الأصوات البينية:

وهي الأصوات التي لها حالات من التفخيم والترقيق على السواء، وهي ثلاثة: /خ/، /غ/، /ق/، كانت مرققة أصلا لأنها ليست من ضمن المطبقات الأربع، ولكنها تصبح مفخمة في سياقات خاصة. ومن هذه السياقات الخاصة أنها يجب تفخيمها إذا أُتبعت بفتحة أو ضمة (قصيرة كانت أم طويلة) كما في: خَلص – غَفر – قَفز – مدخُول – بلغُوا – يقُول. ويجب ترقيقها إذا أتبعت بكسرة كما في: خِيار – غِلاف – قِتال – بخِيل – رغِيب – شقِيق.

4.6.2. أصوات الاستعلاء:

لقد ضم بعض العلماء الأصوات البينية إلى الأصوات المطبقة وجمعوها /ص/، /ض/، /ط/، /ظ/، /خ/، /غ/، /ق/ في قولهم "قظ خص ضغط" وسموها ب "أصوات الاستعلاء" إشارة إلى ارتفاع مؤخر اللسان إلى الطبق عند النطق بها. وذلك مع البيان أن في الأربعة الأولى استعلاء مع الإطباق وفي البقية استعلاء بدون إطباق، مما يعني أن الاستعلاء أعم من الإطباق إذ أن ظاهرة الاستعلاء تحدث مع الأصوات المطبقة والأصوات البينية. فكل صوت مطبق مستعلٍ وليس كل مستعل مطبقا.

7.2. طبيعة الأصوات العربية من حيث مخرجها:

يمكن تعريف المخرج بأنه موضع ينحبس عنده الهواء أو يضيق مجراه عند النطق بالصوت. الشفتان مثلا مخرج للباء لأن عند النطق بهذا الصوت تنطبق الشفتان فينحبس وراءهما الهواء الصاعد من الرئتين. والشفة والأسنان مخرج للفاء لأن عند النطق بهذا الصوت تتقارب الشفة السفلى والأسنان العليا تاركتين مجرى ضيقا للهواء الصاعد من الرئتين. [إدريس جوهر، 2014]

ذهب معظم العلماء المحدثين إلى أن مخارج الأصوات العربية عشرة هي: الشفتان، الشفة والأسنان، بين الأسنان، الأسنان واللثة، اللثة، الغار، الطبق، اللهاة، الحلق، الحنجرة. (الشكل 1.2)

الشكل 1.2: مخارج الحروف الصامتة للغة العربية الفصحى عند الانسان [الفوزان، 2007]

أ. **الأصوات الشفتانية (Bilabiale):** وهما صوتان اثنان: /ب/، /م/. تشترك في النطق بهما الشفة السفلى والشفة العليا، وينطقان بانطباقهما ثم انفراجهما.

ب. **الأصوات الشفهية-الأسنانية (labio-dentale):** وتتكون هذه المجموعة من صوت واحد فقط وهو /ف/. تشترك في النطق به الشفة السفلى مع الأسنان العليا. وينطق بالتقاء الشفة السفلى بالأسنان العليا.

ت. **الأصوات بين الأسنانية (interdentaires):** وهي ثلاثة أصوات: /ث/، /ذ/، /ظ/. تشترك في النطق بها ذلق اللسان والاسنان السفلى والأسنان العليا. وتنطق بوضع ذلق اللسان بين الأسنان العليا والسفلى.

ث. **الأصوات الذلقية-الأسنانية-اللثوية (Apico-dento-alveolaires):** وهي ستة أصوات: /ت/، /د/، /ط/، /ض/، /ل/، /ن/. تشترك في النطق بها ذلق اللسان والأسنان العليا واللثة. وتنطق بوضع ذلق اللسان في التقاء بين أصول الثنايا العليا ومقدم اللثة.

ج. **الأصوات الذلقية-اللثوية (Apico-alveolaires):** وهي أربعة أصوات: /ز/، /س/، /ص/، /ر/. تشترك في النطق بها ذلق اللسان واللثة. وتنطق هذه الأصوات بوضع ذلق اللسان على اللثة.

ح. **الأصوات الطرفية-الغارية (Fronto-palatales:** وتتكون هذه المجموعة من صوتين هما: /ج/، /ش/. وتشترك في النطق بهما طرف اللسان (مقدمه) والغار (الحنك الصلب). وتنطق بالتقاء طرف اللسان بسقف الحنك الصلب (الغار).

خ. **الأصوات الوسطية-الغارية (Centro-palatales):** وتتكون هذه المجموعة من صوت واحد هو الياء /ي/. تشترك في النطق به وسط اللسان والغار. وينطق بأن يرتفع وسط اللسان إلى الغار ولكن دون أن يلتقي به أو يلامسه.

د. **الأصوات القصية-الطبقية (Dorso-velars):** وهي أربعة أصوات: /ك/، /غ/، /خ/، /و/. تشترك في النطق بها أقصى اللسان والطبق (الحنك اللين). وتنطق هذه الأصوات بأن يرتفع أقصى اللسان إلى الطبق.

ذ. **الأصوات القصية-اللهوية (Dorso-uvulaire):** وتتكون هذه المجموعة من صوت واحد هو /ق/. تشترك في النطق به أقصى اللسان واللهاة. وينطق هذا الصوت بالتقاء أقصى اللسان باللهاة.

ر. **الأصوات الجذرية-الحلقية (Rooto-pharyngiens):** وتتكون هذه المجموعة من صوتين هما /ح/، /ع/. تشترك في النطق بها جذر اللسان والحلق. وينطقان بتضييق مجرى الحلق وذلك باقتراب جذر اللسان من جدار الحلق دون ملامسة.

ز. **الأصوات الحنجرية (Glottale):** وتتكون هذه المجموعة من صوتين هما /ء/، /هـ/، يشترك في النطق بهما أعضاء النطق في الحنجرة أهمها الوتران الصوتيان. تنطق الهمزة بانطباق الوترين الصوتيين في الحنجرة، وتنطق الهاء بانفراجهما. (الشكل 1.2)

فيما يلي تصنيف الأصوات العربية ووصفها على أساس مخارجها مبينا ما يشترك في النطق بها كل من العضو المتحرك والعضو الثابت: [إدريس جوهر، 2014] (الجدول 2.2)

	انفجاري	مفخم	احتكاكي	أنفي	لين	أنصاف الحركات
شفوي	/ب/		/ف/	/م/		/و/
بين اسناني		/ظ/	/ذ/ /ث/			
اسناني	/د/ /ت/	/ط/ /ض/		/ن/	/ل/ /ر/	
لثوي		/ص/	/ز/ /س/			
حنكي	/ج/نصف حبسي		/ش/			/ي/
طبقي	/ك/		/غ/ /خ/			
لهوي	/ق/					
حلقي			/ع/ /ح/			
حنجري	/ء/		/هـ/			

الجدول 2.2: الصوامت في اللغة العربية الفصحى

3. مفهوم الحركات في اللغة العربية:

الحركات لها تسميات متعددة في الدراسة الصوتية العربية مثل الصوائت، والمصوتات، وأصوات العلة، والأصوات اللينة، والأصوات الطليقة، إلا أن تسميتها بالحركات –إلى جانب الصوائت– هي الشائعة في عالم الصوتيات العربية لكثرة لجوء الأصواتيين إليها. [بشر، 2000] وسميت بالحركات لأنها تحرك الحرف أي تقلقله. فصوت /ب/ بدون حركة لا يمكن نطقه. وإذا تلته الحركات (الفتحة أو الضمة فوقه أو الكسرة تحته) تحرَّك وأصبح قابلا للنطق (/بَ/، /بِ/، /بُ/) ([ba], [bi], [bu]). [إدريس جوهر، 2014]

قال الرماني في شرحه لكتاب سيبويه: "الحركة تكمن من اخراج الحرف، والسكون لا يمكن من ذلك" وقال ايضا: "إذا تحرك الحرف اقتضى الخروج منه الى حرف اخر". [حاج صالح، 1986]

وعلى هذا الاساس، فان الحركات عند العلماء الاوائل هي الدفعة والنقلة العضوية والهوائية التي تهيئ التكلم لما بعدها، اذ يحتاج اليها للانتقال من مخرج حرف الى مخرج حرف اخر، وكذلك من كلمة الى كلمة اخرى. فهي إطلاق بعد حبس، عكس السكون الذي هو وقف لا يستلزم الانتقال الى حرف اخر. [الزجاجي، 1986]

ويمكن تعريف الحركات بأنها أصوات عند نطقها يندفع الهواء من الرئتين مارا بالحنجرة، ثم يتخذ مجراه في الحلق والفم في ممر ليس فيه حوائل تعترضه فتضيق مجراه كما يحدث مع الأصوات الاحتكاكية، أو تحبس النفس ولا تسمح له بالمرور كما يحدث مع الأصوات الانفجارية. [أنيس ابراهيم، 1999]

بأسلوب أدق يمكن تعريف الحركات بأنها "أصوات مجهورة يخرج الهواء عند النطق بها على شكل مستمر من البلعوم والفم دون أن يتعرض لتدخل الأعضاء الصوتية تدخلا يمنع خروجه أو يسبب احتكاكا مسموعا".

1.3.خصائص الحركات:

للحركات في اللغة العربية خصائص عدة من أهمها أنها تكون مجهورة في غالب الاحيان مع عدم انسداد مرور الهواء من الرئتين عند النطق بها حيث يخرج بطريقة مستمرة دون انقطاع.

وكما لاحظنا في الجدول الخاص بالأبجدية الصوتية للغة العربية فان عدد الصوامت أكبر من الحركات (الصوائت)، لكن لا يمكن نطق الصوامت دون ربطها بحركات من مخارج محددة، كما ان الصوائت تكون مجهورة بالضرورة، أما الصوامت فإما مجهورة أو مهموسة.

الصوائت ليست لها صفات محددة من حيث كيفية خروج الهواء من الرئتين، في حين أن الصوامت تتفرع على هذا المعيار إلى الانفجارية، والاحتكاكية، والمزدوجة، والتكرارية، والجانبية، والأنفية.

الحركات (المُصوتات) الرئيسية في اللغة العربية ثلاثة سميت بالفتحة والكسرة والضمة. ووضعت رموزا لهذه الحركات القصار (الفتحة، والكسرة، والضمة) ثلاث علامات (ـَـِـُ)، بواسطة الخليل بن أحمد حيث رآى أن الحركات القصيرة هي في الحقيقة بعض حروف المد (الحركات الطويلة) من حيث النطق، أي أن الحركات القصيرة والحركات الطويلة تتماثلان في كيفية النطق وتختلفان فقط في كميته أو الطول، مما يعني أن هناك علاقة جزئية – كلية بينهما. فالفتحة بعض الألف نطقا، والكسرة بعض الياء، والضمة بعض الواو. فعلى هذه العلاقة الجزئية – الكلية فيجب أن تكون كتابة الحركة مأخوذة من بعض الحرف أو جزئه. قال الخليل بن أحمد "لما كانت الحركات أبعاض حروف المد نطقا وجب أن تكون بعضها كتابة". [بشر، 2000] وعلى هذا جاءت هذه العلامات المعروفة للحركات القصار (ـَـِـُ).

أما الأشكال الممدودة لهذه الحركات الثلاثة فهي الفتحة الطويلة (ألف المد) والكسرة الطويلة (ياء المد)، والضمة الطويلة (واو المد). وأشار ابن جني إلى أنها ثلاثة حروف: الألف ثم الياء ثم الواو، وهي الحروف التي اتسعت مخارجها حيث لا ينقطع الهواء عند نطقه عن امتداده واستطالته واستمر ممتدا حتى ينفد. [بشر، 2000]

2.3. أنواع الحركات في اللغة العربية:

الصوائت أو الحركات في اللغة العربية ستة، هي:

1. الفتحة القصيرة /ـَ/، مثل: جَلَسَ
2. الكسرة القصيرة /ـِ/، مثل: كُرة
3. الضمة القصيرة /ـُ/، مثل: كِتاب
4. الفتحة الطويلة أو ألف المد /ـَ:/ مثل: سمَاء
5. الكسرة الطويلة أو ياء المد، /ـِ:/ مثل: رحِيم
6. الضمة الطويلة أو واو المد /ـُ:/، مثل: غفُور

3.3. أقسام الحركات العربية:

تنقسم الحركات العربية حسب عدة معايير، والتي نلخصها فيما يلي:

1.3.3. من حيث الطول والقصر: وتنقسم إلى قسمان هما:

أ. **الحركات القصيرة:** وهي الضمة القصيرة والكسرة القصيرة والفتحة القصيرة، تظهر في كلمة " كُتِبَ".

ب. **الحركات الطويلة:** وهي الضمة الطويلة والفتحة الطويلة والكسرة الطويلة، تظهر في جملة " كُونُوا صَابِرِين".

2.3.3. من حيث استدارة الشفتين عند النطق بها: وتنقسم إلى قسمان هما:

أ. **الحركات المدورة:** وهي التي تستدير الشفتان عند النطق بها، وهي الضمة القصيرة والطويلة.

ب. **الحركات غير المدورة:** وهي التي لا تستدير الشفتان عند النطق بها، وهي ما عدا الضمتان القصيرة والطويلة.

3.3.3. من حيث ارتفاع اللسان في الفم: وتنقسم إلى ثلاث اقسام هي:

أ. **الحركات المرتفعة:** وهي التي عند النطق بها يرتفع اللسان إلى أعلى تجويف الفم، وهي الضمتان القصيرة والطويلة والكسرتان القصيرة والطويلة.

ب. **الحركات المتوسطة:** وهي التي عند النطق بها يرتفع اللسان إلى وسط تجويف الفم، وهي الفتحة القصيرة.

ت. **الحركات المنخفضة:** وهي التي عند النطق بها يكون اللسان في أسفل تجويف الفم (لا يرتفع)، وهي الفتحة الطويلة.

4.3.3. من حيث جزء اللسان الذي يرتفع عند النطق: وتنقسم إلى ثلاث اقسام هي:

أ. **الحركات الأمامية:** وهي التي ترتفع مقدمة اللسان عند النطق بها، وهي الكسرة القصيرة والكسرة الطويلة والفتحة الطويلة.

ب. **الحركات المركزية:** وهي التي يرتفع وسط اللسان عند النطق بها، وهي الفتحة القصيرة.

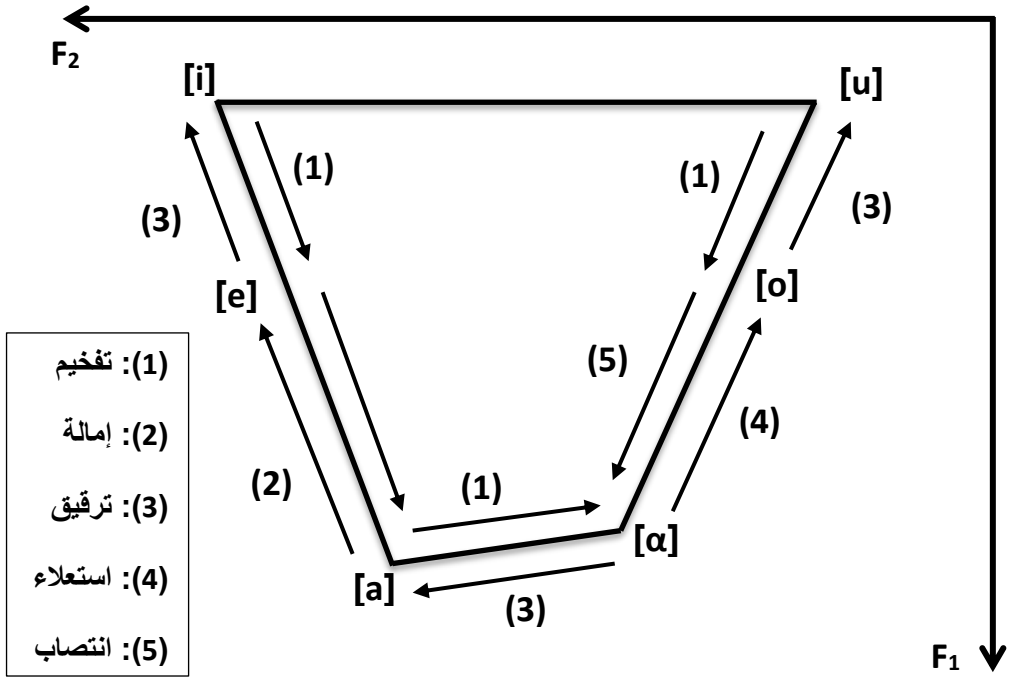
ت. **الحركات الخلفية:** وهي التي يرتفع مؤخر اللسان عند النطق بها، وهي الضمة القصيرة والضمة الطويلة. ويمكن وصف الحركات كما يلي: (الشكل 7.1)

- الفتحة القصيرة: متوسطة/ مركزية/ غير مدورة/ مجهورة.
- الفتحة الطويلة: منخفضة/ أمامية/ غير مدورة/ مجهورة.
- الضمة القصيرة: مرتفعة/ خلفية/ مدورة/ مجهورة.
- الضمة الطويلة: مرتفعة/ خلفية/ مدورة/ مجهورة.
- الكسرة القصيرة: مرتفعة/ أمامية/ غير مدورة/ مجهورة.
- الكسرة الطويلة: مرتفعة/ أمامية/ غير مدورة/ مجهورة.

4.3. الحركات المزدوجة أو المركبة (Diphthongs):

الحركات في معظم اللغات قد تكون مفردة أو بسيطة وقد تكون مزدوجة أو مركبة، أما في اللغة العربية فيتفق الأصواتيون على وجود الحركات البسيطة كما في نحو "جَلَسَ" – "ضُرِبَ". إلا أنهم يختلفون في شأن الحركات المركبة، فمنهم من يرى أنها توجد في اللغة العربية مثل [aw] في "صَوْت" – "لَوْن" – كَوْن" و[ay] في "مَيْل" – "بَيْت" – "لَيْت".

وبعضهم يرون أنها لا توجد في اللغة العربية ويعتبرون أن هذه الكلمات ليست وحدة واحدة وإنما وحدتان أولهما حركة وثانيهما صامت (الفتحة + الواو في "صَوْت" – "لَوْن" – كَوْن"، والفتحة + الياء في "مَيْل" – "بَيْت" – "لَيْت"). (الشكل 2.2)



الشكل 2.2: النظام الصوتي للغة العربية الفصحى حسب المعيار الاكوستي

5.3. أنصاف (أشباه) الحركات:

الحركة المركبة هي بالضرورة وحدة واحدة تتكون من حركتين أو صائتين، والوارد في هذه الكلمات ليس وحدة واحدة وإنما هو وحدتان أولهما حركة وثانيهما صامت (الفتحة + الواو في "مَوْت" – "لَوْن" – بَوْن"، والفتحة + الياء في "مَيْل" – "بَيْت" – "لَيْت"). الواو والياء قد تكونان حركتين وقد تكونان صامتتين ولذلك سماهما الأصواتيون بأنصاف الحركات (Semi voyelles).

تكون الواو حركة أو صائتة إذا وقعت ساكنة بعد ضمة (لا بعد فتحة كما في هذه الكلمات) مثل في "سُوْر" و"فُوْل" و"طُوْل". وتكون الياء حركة أو صائتة إذا وقعت ساكنة بعد كسرة (لا بعد فتحة كما في هذه الكلمات) مثل في "دِيْن" و"حِيْن" و"رِيْح". أما كونهما صامتتين فذلك عند ورودهما في السياقات التالية. [بشر، 2000]

1. إذا وقعتا في أول الكلمة (وَجَدَ – يَجِدُ).
2. إذا أتبعتا بحركة من أي نوع (حِوَار – زاوِية – تعاوُن – قيَام – محايِد – عيُون)
3. إذا وقعتا ساكنتين وقبلهما فتحة (مَوْت – بَيْت – لَوْنٌ – دَيْنٌ)

6.3. التنوين:

المعروف في التنوين أنها ظاهرة تميزت بها اللغة العربية عن سائر اللغات الأخرى، وهو عبارة عن نون ساكنة تلحق آخر الاسم لفظا لا كتابة، وعند علماء الأصوات هي حركة قصيرة بعدها نون. أي ان التنوين يخلف في كتابته عن نطقه، حيث أن التنوين يكتب على شكل حركتين متشابهتين متتابعتين (مثل: فريقٌ، خيراتٍ، قراءةً)، أما عند نطقها فيضاف الى اخر الكلمة حرف النون (مثل: فريقُنْ، خيراتِنْ، قراءتَنْ).

4. خصوصيات اللغة العربية:

تعتمد أصالة الصوتيات العربية إلى حد كبير على أهمية مدة الحركات ووجود حروف العلة (الحركات) المفخمة، بالإضافة الى خاصية التضعيف. حيث تعتبر من اهم العوامل في التنمية المورفولوجية الاسمية واللفظية للغة العربية الفصحى.

كما تتميز اللغة العربية الفصحى كذلك بوجود صوتيات حنجرية وبلعومية وطبقية.

1.4. التشديد:

تملك اللغة العربية سلسلة معقدة من الحروف الساكنة، والتي تسمى الحروف المفخمة، والتي تشمل، في وقت واحد مع الصوت (الفونيم)، تراجع من جذر اللسان (وبالتالي خلق زيادة في حجم تجويف الفم) نحو الجزء الخلفي من الفم والبلعوم، وهذا يعني نطق متزامن للفونيم على مستوى البلعوم. نلاحظ أيضًا وجود بعض الترسبات أو النطق المتزامن للفونيم على مستوى الحنك الرخو أو "غطاء الحنك".

نقصد بالحرف المضعَّف ذلك الحرف المشدَّد، وهو عبارة عن حرفين من جنس واحد؛ نحو: شدَّ: أين تكون الدال مشددة، وهي في الحقيقة حرفان أُدْغِما، الأولُ منهما ساكنٌ /دْ/، والثاني متحرِّكٌ /دَ/ فتصبح شدْدَ. كما ان كل حروف اللغة العربية تَقبَل التضعيف (التشديد)، إلَّا ثلاثة أحرف، وهي: الواو /و/، الألف /أ/ والغين /غ/.

ومن هنا نلاحظ أن الحرف المفخم (المشدد) هو صوت معقد، يتميز بعدة خصائص مركبة على بعضها البعض:

- تراجع جذر اللسان.
- البلعوم.
- الإطباق (بدرجة أكبر أو أقل).

يعتبر التفخيم خاصية للغات السامية، إذ انها ترتبط ببعض الحروف الساكنة للغة العربية الفصحى:

- الحبس الفموي–الأسناني /ط/.
- الاحتكاك الجوفي/الحلقي /ع/.
- الحبس اللثوي الأسناني المجهور /ض/.
- بين الأسناني /ظ/.

الحروف الساكنة المفخمة تأتي من الثلاثية القديمة للغات السامية (مجموعات ثلاثية مكونة من ثلاثة أحرف صامتة)،[Bonnot, 1979] تتكون من حرف مهموس ورنة وتفخيم.

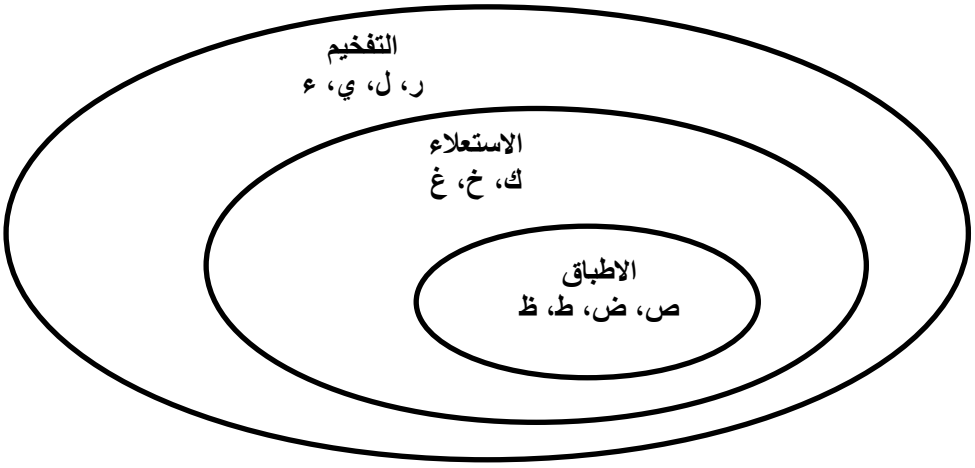
من الطرق العملية في دراسة الحروف المفخمة هو مقارنتها مع حروف الصامتة البسيطة المضادة. إذن فالنظام الصوتي المفخم للغة العربية العربية منظم على شكل ثلاثيات.

من وجهة النظر الصوتية، فإن العنصر المميز الوحيد للحرف المفخم مقارنةً بنظيره غير المفخم هو الفرق في الانتقال من البنية الصوتية الثانية F_2 في السياق حركة–سكون.[Al Ani, 1970]

يعتقد سيبويه، مؤلف أول كتاب للتقاليد النحوية العربية (كتاب)، أن الحروف المفخمة لها ثلاث صفات:

- يتداخل الإطباق [iṭbāq] مع نقيضه الإنفتاح [infitāḥ] جزئيًا مع مفاهيم التفخيم وعدم التفخيم (الترقيق).[Hadj–Salah, 1987]
- الاستعلاء [istiɛlā] يتوافق مع ارتفاع اللسان نحو الحنك، سواء كان مطويًا أم لا. [Hadj–Salah, 1987]
- التفخيم [tafẖīm]، هذه الظاهرة تعطي انطباعًا صوتيًا معينًا "كثيف، دسم".

وهو ينطبق على الحروف الساكنة والحركات. [Cantineau, 1960] هذه المجموعات الثلاث من الحروف الساكنة في علاقة احتواء. (الشكل 3.2)



الشكل 3.2: الحروف الساكنة المفخمة في اللغة العربية الفصحى

تتأثر طاقة جميع الحركات في اللغة العربية مع وجود حروف صامتة مفخمة، وبالتالي نحصل على المتغيرات: حركات مفخمة وحركات غير مفخمة.

2.4. الحروف الساكنة الخلفية:

حروف اللغة العربية الفصحى الساكنة غير المفخمة والمختلفة عن الفرنسية هي:

- الحروف المتحركة الحلقية [ḥalqiya] المتكونة من خمسة حروف رخوة وحرف واحد حبسي. نقطة تعبير الحروف الرخوة اللهاتية توجد في الجزء الأقرب إلى الفم من البلعوم، في حين ان نقطة تعبير الحروف الرخوة البلعومية هي الجزء الأوسط من البلعوم. أما الصوامت البلعومية فنقطة التعبير الخاصة بها هي الجزء الخلفي من البلعوم.
- الصوامت اللهوية [lahawiya]، [qaf] /ق/ لها نقطة التعبير عند الجزء الأكثر بعدًا لخلف اللسان ومنطقة أعلى الحنك، كما يقول سيبويه.
- يحدث اهتزاز حرف /ر/ [r] قليلا في خلف الغار (الذلق) والقابضة.

يتم تمييز الحروف الساكنة البلعومية والحنجرية عن غيرها من الحروف الساكنة من خلال مخارج الحروف او النطق، والذي يتم تعريفه على أنه مجموعة من المواقع التشريحية من الحنك إلى الحنجرة.[Al Ani, 1970]

وتسمى الحروف الصامتة البلعومية، الحلقية، اللهوية والحنجرية الحروف الصامتة الخلفية و هذا نسبة لمخارج الحروف. (جدول 3.2)

	مخارج الحروف				
كيفية النطق	قبل حنكي	اللهوية / اللهاتية	بلعومية	حنجرية	الاحبال الصوتية
حبسي/انفجاري	[k]	[q]		[ʾ]	صماء
قابض		[ḫ]	[ḥ]	[h]	صماء
		[g]	[ɛ]		صائتة

الجدول 3.2: مخارج الحروف الساكنة الخلفية

3.4. التضعيف:

يتوافق التضعيف مع تجزئة حرفين متشابهين إلى نسق واحد يسمى التوأمة أو التركيب، كما أنه إنتاج متناسق بتركيز شديد للغاية من الطاقة. مثال: /سبَّابة/ [Sabbāba] حيث تكون الباء مضعفة على شكل /سبْبَابة/.

يلعب التضعيف أو الإدغام [idġām] دورًا مهمًا للتمايز الدلالي والمورفولوجي.

بالنسبة لـ P. Delattre، يتم نطق الحروف المركبة على مرحلتين بوجود ذروتين من النشاط الصوتي. من ناحية أخرى، بالنسبة لـ J. Cantineau وJ. F. Bonnot، يتم تكوين الحروف الساكنة المركبة في مرحلة واحدة من الاستقرار النطقي الكبير حيث تتأثر بوضوح بالمدة. [Bonnot, 1979] كما ان جميع الحروف الساكنة العربية تحتمل التوأمة او التركيب.

5. الخاتمة:

في هذا الفصل حاولنا الالمام بأهم الخصائص الصوتية للغة العربية الفصحى، من حيث مخارج حروفها ومميزاتها الصوتية والأكوستية. وبالاعتماد على هذه الخصائص يمكننا انشاء نظام آلي للتعرف الصوتي خاص باللغة العربية الفصحى، وخصوصا التعرف على الحركات الخاصة بها.

الفصل الثالث

مبادئ ومقاربات الاستكشاف الآلي للكلام

1. مقدمة:

يتكون الاستكشاف الآلي للكلام (RAP: *Reconnaissance automatique de la parole*) من الكلمات أو الجمل التي يتم تفسيرها آليًا بواسطة متحدث أو أكثر. وبالتالي فإن الهدف الرئيسي المنشود من الاستكشاف الآلي للكلام هو التواصل بلغة طبيعية باستخدام جهاز آلي (كمبيوتر، روبوت حديث، إلخ).

يعتبر الاستكشاف الآلي للكلام مهمة صعبة نظرا إلى مستوى الكفاءة المطلوبة من النظام الآلي للاستكشاف الكلامي وكذلك بسبب خصوصيات إشارة الكلام المراد تفسيرها وطبيعة الحروف المراد استكشافها.

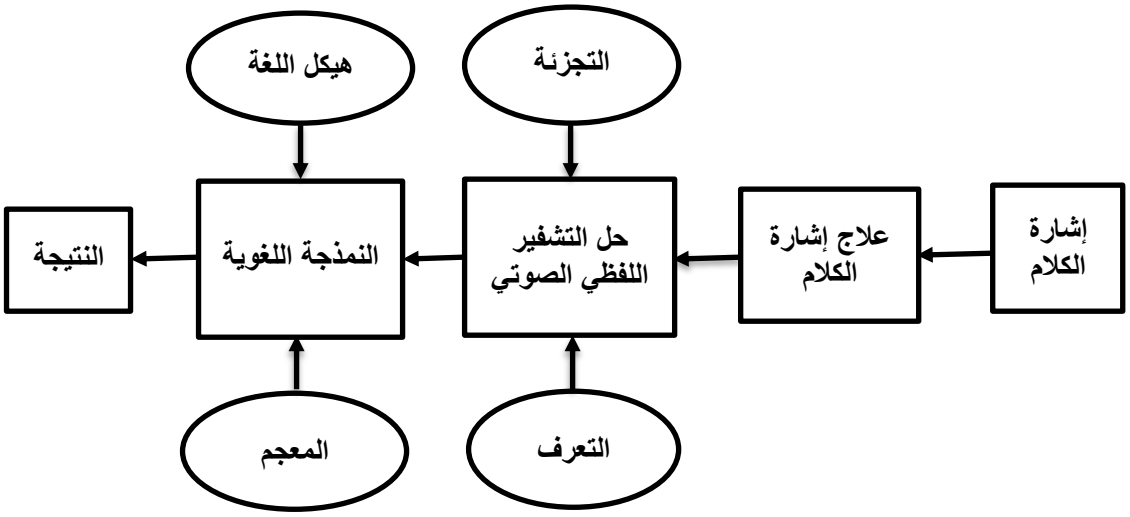
نتطرق في هذا الفصل الى المهام الرئيسية والمقاربات المختلفة للاستكشاف الآلي للكلام ومبادئها ومجالات تطبيقها. ترتبط هذه الطرق ارتباطًا وثيقًا بأنواع المسائل التي يتعين حلها.

كما سنبين مبدأ وخطوات حل التشفير اللفظي الصوتي (DAP: *Décodage Acoustico-Phonétique*). كما تتم مناقشة مشكلات اختيار الوحدة الأساسية للاستكشاف الآلي للكلام كما سنتطرق الى مفهوم مساحة التمثيل.

2. ماهية الاستكشاف الآلي للكلام:

الاستكشاف الالي للكلام هو مجال حديث، حوالي عام 1950 ظهر أول نظام للتعرف على الأرقام، جهاز سلكي بالكامل وغير كفئ في نتائجه. في عام 1960 تقريبًا، أدى إدخال الأساليب الرقمية واستخدام أجهزة الكمبيوتر إلى تغيير بُعد البحوث في هذا المجال. ومع ذلك، فإن النتائج لا تزال متواضعة، نظرا لصعوبة العملية، وخاصة فيما يتعلق بالخطاب (الكلام) المستمر.

الاستكشاف الالي للكلام هو عملية حل التشفير اللفظي الصوتي لسلسلة من الكلمات المنطوقة. (الشكل 1.3)



الشكل 1.3: عناصر نظام التعرف الآلي على الكلام

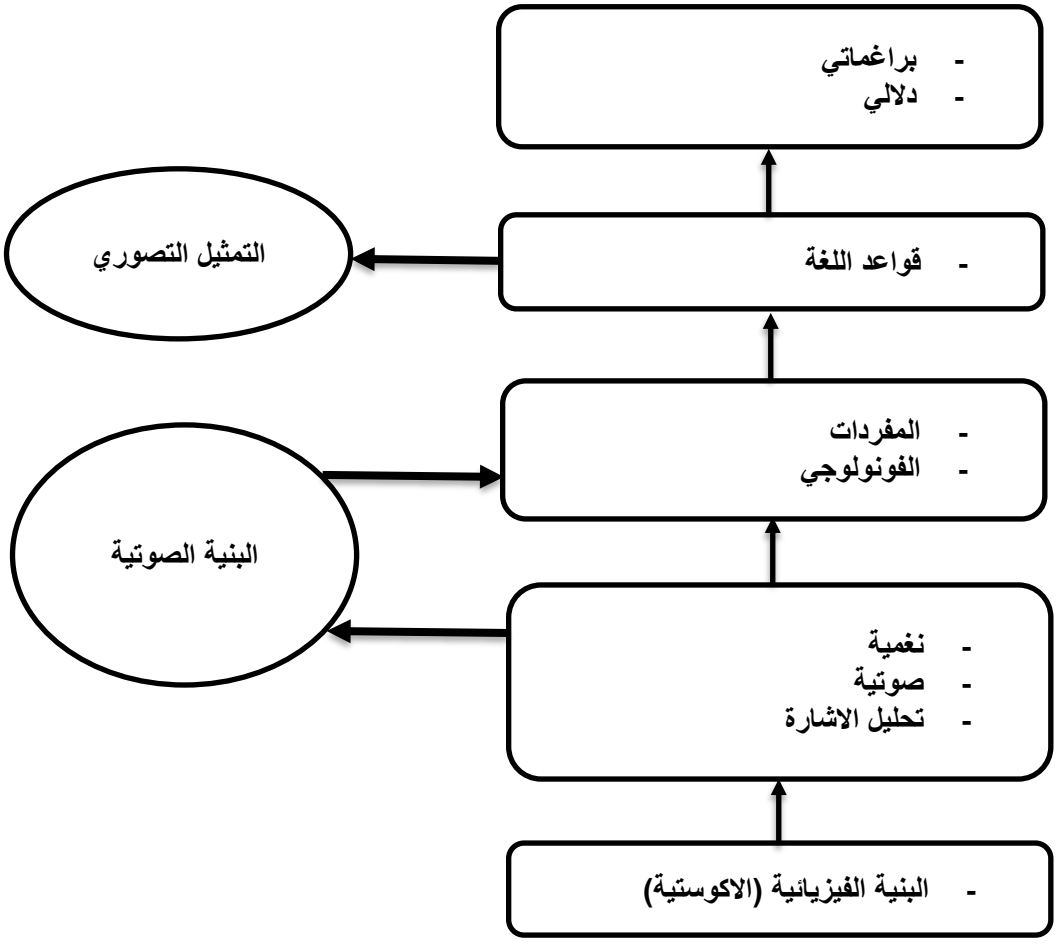
في مجال الاستكشاف الالي للكلام، هناك ثلاثة أنواع رئيسية من التطبيقات:

- أنظمة الأوامر الصوتية.
- آلات الإملاء.
- أنظمة الفهم.

3. أشكال اللغة المختلفة:

أظهر اللغويون منذ وقت طويل أن اللغات البشرية تُستعمل بعدة أساليب وصيغ. من الفكرة إلى غاية الإشارة الصوتية، حيث تتدخل عدة مستويات متتالية من العلاج: البراغماتية والدلالية (مفهوم)، النحوية (بنية اللغة)، المعجمية (الكلمات)، المورفولوجية واللفظية (الصوتيات وتفاعلاتها).

يطابق الاسلوب النحوي مدى ملائمة الجملة في لغة ما وقواعدها النحوية. ومن هذه الخطوة، نستخلص بنية الجملة. حيث يسمح الأسلوب أو النمط الدلالي بترجمة هذه البنية إلى صيغة تعبر عن معنى النص الأولي. يسعى الوضع الأخير إلى تعديل نتيجة التحليل الدلالي من خلال مراعاة العناصر الموجودة خارج النص الذي تم تحليله وهذا كما هو مبين في الشكل التالي: (الشكل 2.3)



الشكل 2.3: المستويات الهرمية المختلفة للغة

هناك عدة مصادر معرفية لابد من توفرها لكي تتم عملية الفهم البشري للكلام من خلال تحليل ودمج والتحكم في أي نظام للتعرف على الكلام. من بين هذه المعارف تلك المتعلقة بتعريف اللغة، والتي تضاف إليها معارف أخرى خاصة بالكلام. هذه المعلومات تصنف عادة بشكل عام إلى نوعين من المصادر.[Hatton & al, 1991a]

1.3. مصادر المعرفة المستقلة عن السياق:

هناك عدة أنواع من مصادر المعرفة في هذا المجال:

- **الأكوستي:** والتي تتوافق مع مرحلة إدخال الإشارة الصوتية، ومعالجتها واستخراج للثوابت الصوتية المعبرة بواسطة تقنيات معالجة الإشارة الصوتية.
- **الفونيتيكي:** التي تتحكم في مرور الإشارة المعيارية لوصفها بمصطلحات الوحدات الصوتية (الصوتات).

- **الفونولوجي:** وهو الاخذ بعين الاعتبار مجموع القواعد التي تصف المتغيرات الفردية المختلفة (لهجات، ...إلخ) وظواهر التعديلات السياقية للأصوات (المجانسة، الترابط، ...إلخ).
- **المعجمي:** يحتوي هذا المستوى على جميع المعلومات المتعلقة بالوحدات المعجمية.
- **الإيقاعي (النغمي):** يغطي إيقاع الصوت وكثافته ولحنه، وهي خاصة بالاتصال عن طريق الكلام (التحدث) وتلعب دورًا مهمًا في فهم الرسالة الصوتية.[Pierrel, 1987]

2.3. مصادر المعرفة داخل السياق (السياقية):

هناك ثلاثة أنواع من مصادر المعرفة السياقية:

- **بناء الجملة:** يتعلق ببنية الجملة وفقًا للقواعد النحوية للغة.
- **الدلالات:** تتعلق بمعنى الوحدات المعجمية والمفاهيم التي تنقلها.
- **الواقعية (البراغماتية):** أكثر تحديدًا من السابقة، حيث تحتوي على معلومات تتعلق بسياق محيط (مجال) التطبيق ويرتبط بمفهوم الحوار.

4. مقاربات الاستكشاف الالي للكلام:

الاستكشاف الالي للكلام هو عملية حل أو فك تشفير الإشارة اللفظية الصوتية للكلام إلى سلسلة من الكلمات المنطوقة فعلا. وبالنظر إلى خصائص الكلام الكثيرة، هناك عدة طرق مستعملة لمعالجة مشكلات الاستكشاف الالي للكلام. تتعلق هذه الخطوات بالنقاط التالية:[Haton & al, 1991b]

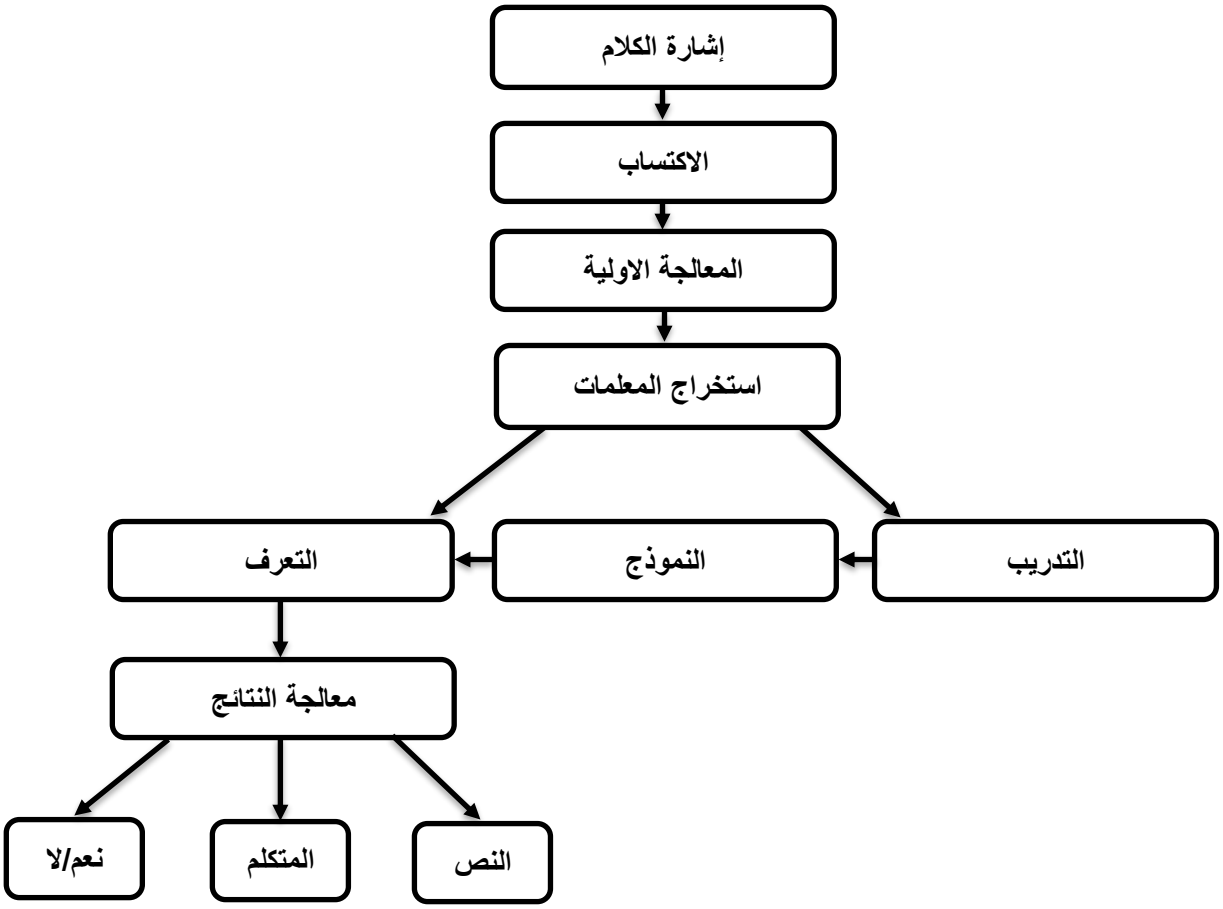
- **طريقة الكلام:** كلمات منفصلة أو كلام متصل.
- **الاستقلالية بالنسبة للمتكلم:** نظام أحادي أو متعدد المتكلمين (المتحدثين).
- **تعقيد اللغة المستخدمة:** تتعلق أساسا بكل من عدد المفردات الخاصة باللغة وصعوبة قواعدها اللغوية.
- **الاستكشاف أو الفهم:** الذي يميز بين الاستكشاف البسيط على مستوى الكلمات أو تفسير الرسالة بأكملها.

إن أي نظام للاستكشاف الآلي للكلام لابد أن ينتج من خلال حل وسط بين هذه الأساليب المختلفة، وذلك يعتمد على الهدف والأهداف المراد تحقيقها.

يتم استخدام مجموعة واسعة من التقنيات في مجال الاستكشاف الالي على الكلام. تبدأ كل هذه التقنيات بأخذ عينات من إشارة الكلام تليها معالجة صوتية. (الشكل 3.3)

يوجد في مجال الاستكشاف الآلي للكلام عدة طرق من بينها المنحى الإجمالي والمنحى التحليلين لهما نفس المبدأ ولكن يختلفان في الذات القابل للاستكشاف الذي يتمثل في الكلمة بالنسبة للمنحى الأول والصُويتة بالنسبة للمنحى التحليلي.

كلتا المقاربتين تعتمدان على نفس المبدأ، لكن ما يميز بين هاتين المقاربتين هو طريقة فهم ومشكلة الاستكشاف الالي للكلام، أي الإحاطة او استيعاب الوحدة المتعرف عليها.



الشكل 3.3: رسم تخطيطي للهيكل العام لنظام التعرف على الصوت

1.4. المقاربة الاجمالية:

إن سيرورة الاستكشاف الإجمالي لا يأخذ بعين الاعتبار تركيبة والخصائص الصوتية للكلمة على السواء ويعتمد على الصور الصوتية فقط. الفكرة الأساسية لهذا المنحى يتمثل في إعطاء النظام على الأقل صورة صوتية لكل كلمة لكي يتمكن من الاستكشاف عليها فيما بعد، هذه العملية تجري خلال مرحلة التمرن. هذا المنحى يبحث على إيجاد حلول لمعضلة الاستمرار الكلامي وذلك بعزل وفصل الوحدات الصوتية القصيرة كالصوتيات والمقاطع اللفظية. إذن لاستكشاف الكلام المستمر نقوم بتجزئته إلى وحدات قاعدية والتحقيق فيها ذاتيا.

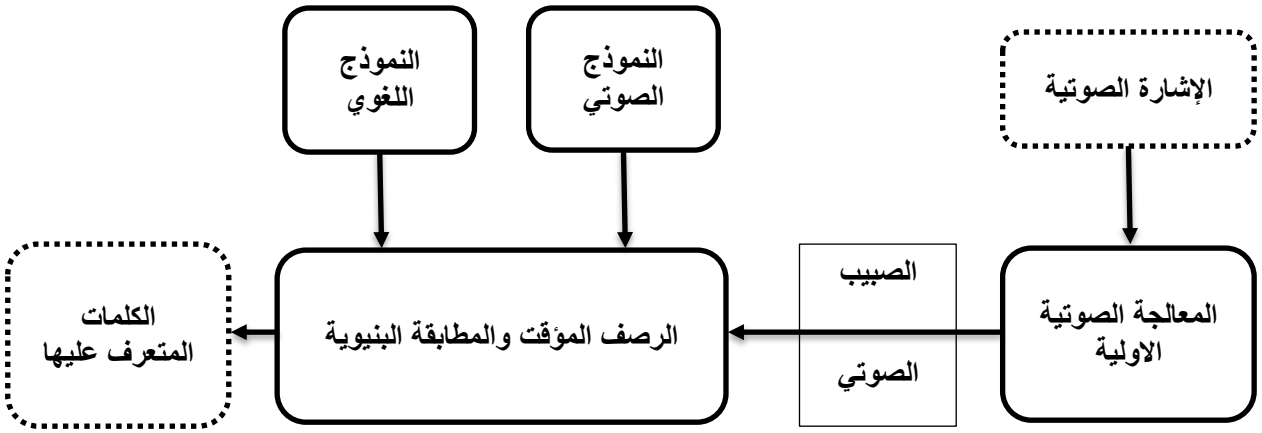
ينطبق المصطلح "الاستكشاف الاجمالي" على الأنظمة التي تكون وحدة اتخاذ القرار فيها هي الوحدة المعجمية (المفردات)، إن الفرد الأدنى للاستكشاف يمكن أن يكون، كلمة، مقطع لفظي، صويتة أو صوتة.

ومع ذلك، تنطبق هذه الطريقة بشكل أفضل على حالة الاستكشاف على المفردات المعزولة في مجموعة صغيرة من المفردات.

في الواقع، يمكن عزل الصور الصوتية للكلمات عن بعضها البعض بسهولة لأنه من المفترض أن يتم فصل جميع الأصوات المعبر عنها بالصمت الواقع بينها. [Vintsjuk, 1968]

ومع ذلك، فان هذه الطريقة غير مناسبة للتعرف على المفردات أو الكلمات المعزولة داخل مجموعة كبيرة من المفردات، لأن الجهاز يتطلب قدرًا كبيرًا من الذاكرة والقوة لتخزين الصور الصوتية لجميع مفردات المعجم (القاموس) وكذلك للمقارنة في كل مرة بين الكلمات المكتشفة وغير المعروفة بكل مفردات المعجم.

تتجاهل عملية الاستكشاف الاجمالي البنية والخواص الصوتية للكلمات، حيث لا يؤخذ بعين الاعتبار إلا الشكل الصوتي للمفردات. (الشكل 4.3)



الشكل 4.3: بنية نظام التعرف الآلي على الكلام حسب المقاربة الاجمالية

الفكرة الأساسية لهذه الطريقة هي إعطاء النظام صورة صوتية واحدة على الأقل لكل من المفردات (Lexie) التي يجب أن يتعرف عليها لاحقًا. تتم هذه العملية خلال مرحلة التعلم.

أما بالنسبة للمفردات غير المعروفة فيتم الاستكشاف عليها من خلال مقارنة شكلها مع مختلف الأشكال المرجعية المحفوظة. حيث يبحث النظام على الصورة المرجعية الاقرب الى الصورة الاكوستية للوحدة الصوتية (الصوتة) المراد الاستكشاف عليها، بمعنى مؤشر الاختلاف.[Bellanger, 1990]

ومع ذلك، تواجه هذه الطريقة مشكلتين رئيسيتين:[Davis & al, 1980]

- صعوبة استخراج المعلمات المعبرة والكاشفة للإشارة الصوتية من أجل بناء الصور الصوتية للوحدات المعجمية (المفردات).
- تعريف مؤشر الاختلاف، والذي يجب أن يأخذ في عين الاعتبار الاختلافات بين المقاييس الزمنية للصور الصوتية المطلوب مقارنتها. هذه التقنية شائعة الاستخدام لقياس البعد، أو بالأحرى مؤشر الاختلاف، بين الصور الصوتية المراد استكشافها (المختبرة) والصور الصوتية المرجعية، حيث تعتبر ايضا كطريقة للمقارنة الديناميكية والتي تأخذ بعين الاعتبار التباين في سرعة النطق.

لكن العيب الرئيسي لهذا النوع من المقاربات هو أنها لا تسمح بمعالجة المجموعات الكبيرة من المفردات حيث انها غير مكيفة لمعالجة الجمل. في الواقع، فهي تحتاج الى املاء الجمل كلمة بعد كلمة مع الفصل بينها بالصمت بمقدار بضع عشرات من الجزء من الثانية.

2.4. المقاربة التحليلية:

تسعى هذه المقاربة إلى حل مشكلة الكلام المستمر عن طريق عزل الوحدات الصوتية القصيرة مثل الصُوَيْتات (الفونيمات)، أي الاستكشاف على الكلام المستمر بالتجزئة إلى وحدات أساسية والاستكشاف عليها، فإن التداخل الصوتي ينتج عنه معدل خطأ كبير. (الشكل 5.3)

تتكون بنية نظام الاستكشاف التحليلي من جزأين رئيسيين:

- النظام الصوتي الأكوستي الذي يولد من خلال الإشارة الصوتية، وحدات صوتية. وهذا ما يعرف بفك الشفرة الصوتية–الأكوستية.
- النظام اللغوي الذي يستخدم كمُدخلات سلسلة الوحدات الصوتية الناتجة عن النظام السابق، لإعطاء التفسير الدلالي للرسالة الصوتية كنتيجة.

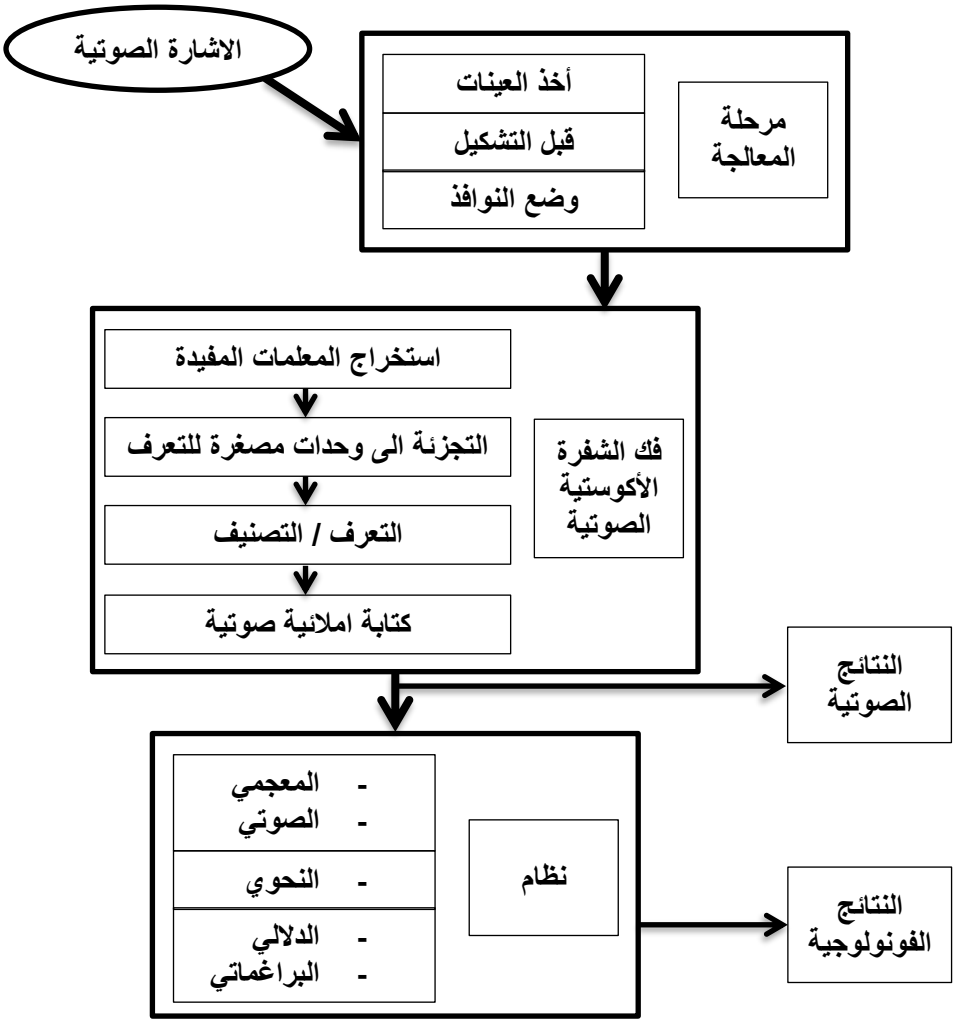
هذه الطريقة أكثر عمومية وتسمح بالاستكشاف على الكلام المستمر لمجموعات كبيرة من المفردات، من خلال حفظ عدد محدود فقط من العناصر، بغض النظر عن حجم معجم المفردات. لكن من الصعب أيضًا تطبيقها، خاصة على مستوى خوارزميات تجزئة الرسائل.

إن تركيبة نظام الاستكشاف التحليلي يتكون من جزئين أساسين وهما:

- النظام الصوتي اللفظي الذي يولد من خلال الإشارة اللفظية وحدات لفظية والمعروف باسم حل التشفير الصوتي اللفظي.
- النظام اللغوي الذي يستعمل الوحدات الصوتية المنتجة من طرف النظام السابق الذكر لترجمة وفهم محتوى الرسالة اللفظية.

إن حل التشفير اللفظي الصوتي يعتبر أول زريدة الاستكشاف. كل المعالجات اللاحقة مرتبطة ارتباطا قويا بنوعية النسيج اللفظي.

إن الهدف من هذه المرحلة هو الحصول على سلسلة أو مشبك للوحدات الصغرى التي يطلق عليها اسم شبه الصُّوَيْتات لأنها لا تطابق تماما الصُّوَيْتات.



الشكل 5.3: رسم بياني لبنية نظام التعرف على الكلام التحليلي

في هذا المخطط العام، يعد مستوى فك التشفير الصوتي خطوة مهمة وصعبة للغاية في تصميم نظام للاستكشاف الالي للكلام.

5. حل التشفير اللفظي الصوتي:

إن كفاءات أي نظام للتعرف الالي على الكلام المستمر مرتبطة مباشرة بمرحلة حل التشفير اللفظي الصوتي. لذلك من المهم تصميم وحدات قوية وفعالة لفك التشفير الصوتي. يتمثل أحد العوامل الرئيسية في حل التشفير اللفظي الصوتي في أهمية التباين السياقي للأصوات المستمدة من مجموعة متنوعة من الظواهر:

التداخل اللفظي (الشفوي، الأنفي، إلخ)، الاختلافات في طول القناة الصوتية، التغيرات في طيف المصدر، ظواهر تخفيف الجهر، ...إلخ.[Boite & al, 1987]

تشتمل عملية حل التشفير اللفظي الصوتي على مهمتين مختلفتين يمكن القيام بهما بالتتابع أو بالتوازي، وذلك اعتمادًا على الطريقة المتبعة:

- مهمة تجزئة الإشارة الصوتية إلى وحدات أولية.
- مهمة وضع العلامات الصوتية لهذه المقاطع.

إن اختيار الوحدة الصوتية له أهمية كبيرة. حيث تم استخدام عدة وحدات مختلفة، وأحيانًا بشكل متزامن في نفس النظام: المقاطع الصوتية، الصُّوَيْتات، الثلاثيات والصيتات، ...إلخ.

تمتاز المقاطع الصوتية والأجزاء الصوتية الثلاثية بدمج معلومات خاصة بالتحولات، وهي أصعب الأجزاء التي يمكن التعرف عليها في الكلام. يمكن أن يسهل استخدام شبه الصُّوَيْتات إلى حد ما، مهمة وضع العلامات الأوتوماتيكية، لكن من الضروري إيجاد حل وسط بين الأداء والتعقيد لأن عدد البدائل الصوتية قد يكون غير محدود.

تستعمل العديد من الأنظمة الصوتية وفي العديد من الأحيان الصويتة كوحدة صوتية. وهذا راجع لعدة أسباب. حيث تعتبر الصويتة كوحدة أساسية لوصف الكلام من الناحية الصوتية. بالإضافة إلى ذلك، تتطلب هذه الوحدة وقتًا أقل للتعلم ومساحة أقل تخزين، حيث يمكن من خلالها التنبؤ بالتغيرات الصوتية باستخدام قواعد سياقية داخلية وخارجية.

لكن في الواقع، لا توجد وحدة فك تشفير مرضية تمامًا. وكما أشرنا من قبل، فهناك طريقتين مختلفتين من حيث التصميم تستعملان في التعرف الالي على الكلام. يعتمد كلاهما على تجزئة الإشارة إلى كيانات أو مفردات لغوية صغيرة.

للتعرف على المفردات في المعاجم المحدودة، يتم استخدام الاستخراج المباشر للكلمات في الإشارة الصوتية بنجاح، ولكن عند محاولة التعرف على مفردات كبيرة أو كلام مستمر، يصبح من الضروري استخراج وحدات أدق من الإشارة وهنا يكمن دور حل التشفير اللفظي للصوت.

إن حل التشفير اللفظي الصوتي يعتبر أول زريدة الاستكشاف. كل المعالجات اللاحقة مرتبطة ارتباطا قويا بنوعية النسيج اللفظي. والهدف من هذه المرحلة هو الحصول على سلسلة أو مشبك للوحدات الصغرى التي يطلق عليها اسم شبه الصُّوَيْتات لأنها لا تطابق تماما الصُّوَيْتات.

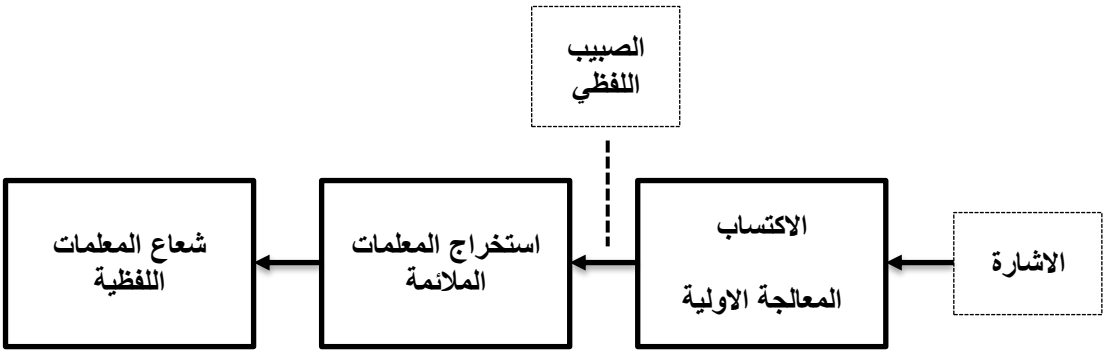
إن تقنية حل التشفير اللفظي الصوتي يسمح:

- باستخراج الثوابت الموافقة أو الملائمة (إشارات، روابط، إلخ) لإشارة الكلام من خلال المعالجة الصوتية.
- بتجزئة الكلام إلى وحدات مُعرفة.
- بالتعرف والتحقيق من خلال ترتيب تلك الوحدات الصوتية أو على الأقل إعطائهم خاصيات معبرة وكاشفة (علامات الأصناف أو الأصناف الكبرى).

تتفاعل هذه الوظائف المختلفة مع بعضها البعض ومع الوحدات اللغوية المحيطة.

1.5. استخراج الثوابت الموافقة أو الملائمة للإشارة الصوتية:

تتمثل هذه الخطوة في استخراج عدد محدود من المعلمات الملائمة من إشارة الكلام مع حذف المعلومات المكررة. يهدف استخراج الميزات إلى تقليل حجم مساحة البيانات مع الاحتفاظ بأكبر قدر ممكن من المعلومات المعبرة من أجل المستويات العليا للمعالجة، أي المعلومات التمييزية. (الشكل 6.3)



الشكل 6.3: رسم تخطيطي لمبدأ الخطوات الأولى لعلاج نظام الاستكشاف الالي للكلام

الطرق الرئيسية المستخدمة للتحليل هي الطرق الزمنية أو الطيفية. تستخدم معظم أنظمة التعرف الالي للكلام خصائص الإشارة المقدرة على فترات زمنية قصيرة يفترض خلالها أن تكون الإشارة الصوتية ثابتة. بعض المعلمات المستمدة إما من الإشارة الصوتية نفسها أو من تمثيلاتها المختلفة (*LPC*، *Cepstre*، وما إلى ذلك) ذات أهمية بالغة للتحليل الصوتي.

مع الأخذ في الاعتبار المعلومات الزمنية، والتي تستخدم على نطاق واسع في التعرف على الكلام وعلى المتحدث، يجب تضمينها في شعاع المعلمات، ومشتقات الأشعة الطيفية أو الرأسية (*Cepstraux*).[Markel & al, 1976]

لا يزال استخدام هذه المشتقات، الذي يُطلق عليه أيضًا معاملات دلتا ودلتا–دلتا، هو النهج الأكثر استخدامًا حاليًا بسبب بساطة تنفيذه وتحسين الأداء الذي يمكننا ملاحظته. [Wakita, 1980]

2.5. تجزئة الإشارة الصوتية:

الغرض من التجزئة هو تجزئة التواصل الصوتي أو تحليله آليا إلى سلسلة من المقاطع بحيث يوافق كل منها صويتة او كلمة او ما إلى ذلك. في هذا المستوى نواجه مشكلتان اساسيتان، اختيار وحدة القرار من جهة، ومن جهة أخرى، إنجاز تجزئة صحيحة، أو على الأقل متماسكة.

لكن في المقابل، لا توجد روابط مباشرة وبسيطة بين الصوت والتمثيل الصوتي، بسبب استمرارية وتغير الإشارة الصوتية.

يتم استخدام طرق تجزئة مختلفة، بما في ذلك ما يسمى بالطريقة الصريحة التي تستخدم معلمات مثل طاقة الإشارة، والتباين الطيفي، والوظيفة الأساسية، وكثافة التقاطع الصفري. فهي تسمح بالعثور على الحدود بين الاجزاء. تتمثل ميزة هذا النوع من التجزئة في تقليل تعقيد التعرف من خلال السماح بتحديد موقع فوري للجزء، مع حدود معرفة جيدًا.

يعتمد مبدأ التجزئة بشكل عام على دراسة التغيرات في دالة تقيس التباينات وانقطاعات الموجة الصوتية وطيفها. بالإضافة الى استخدام معايير خاصة بالنطق. يعتمد التقسيم في جميع الحالات على معرفة صوتية–لفظية يمكن توضيحها. هذا المنحى يؤدي إلى أنظمة تجزئة عن طريق قواعد إعادة الكتابة أو قاعدة معرفة، كما انه يجعل من الممكن دمج المعرفة الاستكشافية التي يمتلكها عالم الصوتيات وبالتالي تحسين الأداء. [Markel, 1972]

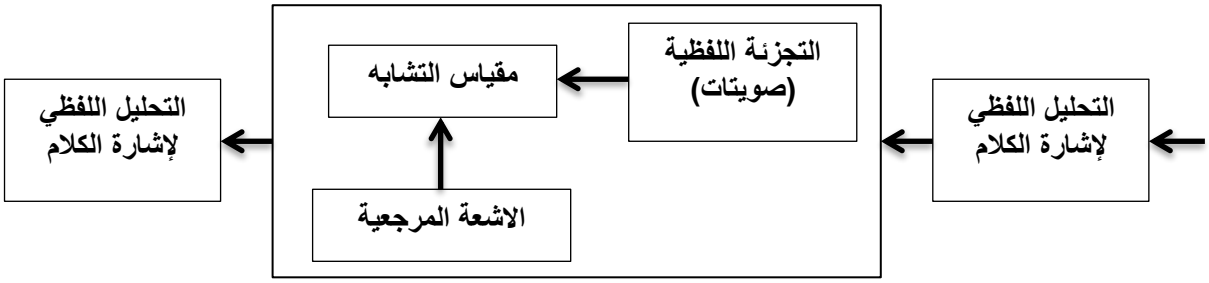
يستخدم معظم المجزئين استراتيجية تصاعدية تبدأ من بيانات الإشارة الخام للانتقال إلى تمثيل أكثر رمزية، في المقابل استراتيجية من الأعلى إلى الأسفل تستند إلى التنبؤ بتتابع الاصوات.

كل هذه الطرق تعطي أخطاء في التجزئة سواء بالإضافة او بالنقصان ينبغي اكتشافها وتصحيحها، وهذا يعني خاصة منحيين يستخدمان على نطاق واسع في الأنظمة الحالية: التفاعل لأقصى درجة بين التجزئة والتعليم (الوسم) الصوتي واستراتيجية اتخاذ القرار المؤجلة لتأخير اتخاذ القرارات النهائية للتجزئة ولكن أيضًا للوسم المتأخر حتى يتم جمع الحد الأقصى من العناصر الصوتية المقرِرة.[Haton, 1974]

3.5.وضع العلامات الصوتية (الوسم):

يستخدم الوسم الصوتي تقنيات مستمدة في معظم الأحيان من التصنيف أو التعرف على الاشكال. التصنيف هو وضع قاعدة تساعد في اتخاذ قرار يتم بموجبه وضع السمات التي تميز الصوتيات في مجموعات فئوية (الانتقال من الترميز إلى القرار). لكن قبل دمج أي نموذج للقرار في نظام التعرف على الكلام، لابد من المرور على خطوتان أساسيتان: خطوة التعلم وخطوة الاختبار.[Holland, 1975]

تتمثل خطوة التعلم في توصيف فئات الصوتيات من أجل التمييز بين عائلات الصوتيات المتجانسة. هذه خطوة أساسية في نظام التعرف. (الشكل 7.3)



الشكل 7.3: مخطط وحدات نظام التصنيف الصوتي

هناك نوعين من التعلم: بالإشراف وبغير اشراف، في حالة التعلم الخاضع للإشراف، يتم تقديم نموذج تمثيلي لجميع الأصوات التي يتم التعرف عليها لوحدة التعلم.

يتم وسم كل صوت بواسطة مشغل، هذه الاشارة او الوسم تسمح لوحدة التعلم بمعرفة المجموعة التي يريد المشغل تخزين الصوت فيه. هذه المرحلة تقوم بتحليل أوجه التشابه بين عناصر الفئة أو المجموعة الواحدة والاختلافات بين عناصر الفئات المختلفة لاستنتاج أفضل قسم من مساحة التمثيل. يتم تخزين المعلمات التي تصف هذا القسم في جدول التعلم الذي تعتمد عليه وحدة القرار بعد ذلك في تصنيف الصوتيات المعروضة عليه. [Holland, 1975]

أما في حالة التعلم بدون إشراف، نقوم بمد نظام التعرف بعدد كبير من الأصوات غير المؤشرة (الموسومة). فتقوم مرحلة التصنيف تلقائيًا بتحديد الوحدات التي تنتمي إلى نفس المجموعة.

تقوم خطوة الاختبار بتقييم أداء المصنف لتعلم معين. حيث تعتبر هذه خطوة مهمة لأنها يمكن أن تؤثر على اختيار المعلمات أو اختيار طريقة التعلم.

في مجال الاستكشاف الآلي للكلام، فإن الأساليب المعتمدة على التعلم الخاضع للإشراف هي الأكثر استخدامًا.

6. نماذج مختلفة من التعرف الالي على الكلام:

يعد اختيار نموذج مناسب لتمثيل مصادر المعرفة المختلفة أمرًا بالغ الأهمية لأداء نظام التعرف على الكلام. لا تسمح المعرفة الحالية في مجال اللغويات وعلم النفس والإدراك بالاعتماد على نموذج من الدماغ البشري لمحاولة إنجاز نظام للاستكشاف الآلي للكلام. من بين النماذج الرئيسية الحالية، لدينا:

- **النماذج العشوائية:** تعد واحدة من الاتجاهات البحثية الواعدة في للاستكشاف الآلي للكلام، حيث تعدل مجوع عمليات التعرف من حيث سياق العشوائية. هذا النموذج الإحصائي البحت يسمح بدمج المستويات الصوتية واللغوية في عملية اتخاذ قرار واحد. يتم تمثيل هذه المستويات بشكل كلاسيكي بواسطة نماذج ماركوف المخفية (HMM: *Hidden Markov Models*)

يمكن أن تكون الوحدات الصوتية المصممة على شكل كلمات كما في المنحى الاجمالي أو وحدات أقصر مثل الصوت في المنحى التحليلي. أين يعتبر زمن المعالجة في هذا النموذج مهمًا جدا، لكن أداءه يعتبر من بين أفضل ما تم الحصول عليه حتى الآن.

- **نماذج الوصل:** يعتمد هذا النوع من النماذج على نمذجة واقعية أكثر أو أقل للقشرة الدماغية البشرية. يتكون من الترابط بين عدد كبير للغاية من المعالجات الأولية مستوحاة من عمل الخلايا العصبية. يتم نمذجة الخلايا العصبية بواسطة وظيفة تنشيط مجموع إشارات الإدخال، على غرار الإشارات الكهروكيميائية للنظام البيولوجي. على غرار الشبكة العصبية من خلال الاتصالات بين الخلايا العصبية. حيث يوجد لكل رابط بين عصبونين وزن معين، يسمى الوزن التشابكي، الذي يمثل أهمية هذه الرابطة العصبية، أثناء مرحلة التعلم، تتغير الأوزان التشابكية من أجل الوصول الى نتيجة والحفاظ على هذه الأوزان هو بمثابة تجربة الشبكة العصبية.
- **النماذج القائمة على المعرفة والأنظمة الخبيرة:** هذه النماذج تستفيد من الخبرة البشرية من خلال اكتساب واستنباط المعرفة. إذ أنه في مثل هذه الأنظمة، غالباً ما يكون تمثيل المعرفة على شكل قواعد إنتاجية.

- **النماذج البيولوجية القائمة على الخوارزميات التطورية (*Algorithmes Évolutionnaires* :AE):**
بناءً على التقنيات المستمدة من علم الوراثة والتطور الطبيعي. تعد الخوارزميات الجينية او الوراثية من بين أهم الاساليب المستعملة حاليا للاستكشاف الالي للكلام والأكثر شهرة وهذا ما سنعتمده لنموذجنا.

7. وظائف قياس المسافة:

من اجل تحليل البيانات، نبدأ باختيار خصائص الاشياء التي نريد تحليلها عن طريق وضعها في مجال للتمثيل. بعد ذلك، يجب أن نجهز أنفسنا بالأدوات المترية لقياس المسافات (أوجه التشابه، والاختلاف، ...الخ) بين الاشياء المذكورة. كذلك، في المسافة المترية، يجب على المسافة بين شعاعين x وy ان توفي الصيغة التالية: (الصيغة 1)

$$\begin{cases} d(x,y) \geq 0 \\ d(x,y) = d(y,x) \\ d(x,u) \leq d(x,u) + d(u,y) \end{cases}$$

الصيغة 1

u: شعاع

ومع ذلك، فان هذه الشروط غير محترمة دائمًا من طرف المسافات المستخدمة في معالجة الكلام. لذلك، فمن الأصح التحدث عن قياس التشويه أو قياس الاختلاف. ترتبط هذه المسافات ارتباطًا وثيقًا بطبيعة المعلمات المقتطعة.

هناك العديد من أنظمة التعلم التي يعتمد أدائها على اختيار دالة المسافة.

يتم حساب مقياس عام للمسافة في الفضاء المتري بواسطة مؤشر مينكوسكي (Minkowsky). ويشمل ذلك بشكل عام، الحالة الخاصة بالقياسات الإقليدية. في المساحة المحددة بواسطة المتغيرات j، يتم تعريف مؤشر مينكوسكي بين الوحدات x وy على النحو التالي: (الصيغة 2)

$$d(x,y) = \left(\sum_{k=1}^{K} w(x_k - y_k)^{\upsilon} \right)^{\frac{1}{\mu}}$$

الصيغة 2

من أجل $\upsilon = \mu = 2$ إذا كانت الأوزان مساوية لـ 1. يعطي هذا المقياس القياس الإقليدي التقليدي المستخدم على نطاق واسع في البيانات الكمية. مسافة مانهاتن (*Manhattan*) تعادل مسافة مينكوفسكي (*Minkowski*) من أجل $\mu = 1$.

في المسافة المحددة بواسطة العدد j من المتغيرات، تكون المسافة الإقليدية بين الأفراد x وy: (الصيغة 3)

$$d^2(x,y) = \sum_j \left(x_j - y_j\right)^2$$

الصيغة 3

تتيح مسافة مهالانوبيس (*Mahalanobis*) من الشعاع x إلى الفئة 2، والتي تتميز بشعاعها المتوسط y، الذي يسمح بقياس مسافة العينة المحددة بموضعها (شعاع متوسط) وتشتتها (مصفوفة التغاير). يتم تقديمه بواسطة التعبير التالي: (الصيغة 4)

$$d(x,y) = \sqrt{(x-y)^T \wedge (x-y)^{-1}}$$

الصيغة 4

من أجل تجنب الآثار الناجمة عن العدد غير المتكافئ لحدوث كل فئة، قام الإحصائي مهالانوبيس بتطوير حساب المسافة بناءً على تباين السجلات أو المجموعات باللغة الإنجليزية. حيث يتم حساب الوسط ومصفوفة التغاير لكل كتلة. تحدد هذه البيانات الانتقال إلى المساحة التي تركز على متوسط الكتلة، والتي يتم توحيد قاعدتها وفقًا للاختلافات في اتجاهات السجل. وبالتالي يمكننا حساب المسافة بين السجل لكل نقطة اختبار عن طريق حساب المسافة بين مصدرها في مساحة الوصول (المقابلة لمتوسط السجل في مساحة المعلمات) ونقطة الاختبار. يتم تكييف هذه المسافة بشكل جيد مع التعرف الالي على الكلام، حيث نضطر للعمل مع قواعد البيانات الكبيرة.

8. طرق التصنيف:

الغرض الشائع من طرق التصنيف هو العثور على مُقوم يقوم بتخصيص صنف من بين الاصناف c المتاحة لفرد مجهول، بناءً على معرفة أوصافه عن طريق مجموعة من الأحرف m (السمات). عادة ما يتم إنشاء هذا المقوم من مجموعة ممثِلة من الأفراد n، الموصوفين بنفس هذه الخصائص ولكن أصنافهم المنتمين اليها معروفة، والتي ستكون بمثابة مثال في بناء قواعد التوزيع.

تنتج طرق التصنيف، من الإحصاءات والذكاء الاصطناعي. من بين الأساليب الرئيسية الحالية، لدينا:

1.8. قوانين غوسيان المختلطة (GMM: *Gaussian Mixture Models*):

إذا كان توزيع الاحتمالات لكل فئة معروفًا في مساحة التمثيل، فسيكون حساب احتمال الانتماء إلى فئة بسيطًا. ومع ذلك، في الممارسة العملية، فتوزيع الاحتمالات لا يُعرف مقدمًا ويكون تقديره ضروريًا من خلال معطيات التعلم لكل فئة او مجموعة.

تعد قوانين قوسيان المختلطة كعائلة من المصنفين، حيث يُفترض أن توزيع البيانات لكل فئة هو مزيج من عدة توزيعات غوسية في مساحة التمثيل. يتم تعلم خلائط قوانين قوسيان عمومًا بواسطة خوارزمية الحد الأقصى للتوقع (EM: *Espérance Maximale*) التي تضمن نظريًا التقارب نحو الحل الأمثل. تسمح هذه الخوارزمية بالحساب التكراري لمعلمات كل غوسية.

2.8. نماذج ماركوف المخفية (HMM: *Hidden Markov Models*):

يتم استخدام نماذج ماركوف المخفية لنمذجة التطور الزمني للإشارة الصوتية. وهي تستند إلى نظرية احتمالية. تتميز نماذج ماركوف المخفية بمصفوفة الانتقال بين الحالات، وتوزيع الاحتمالات لإرسال اشعة الخصائص لكل حالة، وكذلك للحالات الأولية للنظام. يتم تقدير معلمات نماذج ماركوف المخفية من خلال التعلم على البيانات المصنفة يدويًا.

توفر نماذج ماركوف المخفية أثناء مرحلة التعرف، المسار الأكثر احتمالا للحالات وبالتالي فهي تعطينا الفئات الصوتية في كل لحظة. إن الخوارزمية الفعالة والمستخدمة على نطاق واسع، تسمح بتحديد تسلسل الحالة، إذ أنها تعتمد على البرمجة الديناميكية وتسمى بخوارزمية فيتربى.

تم استخدام نماذج ماركوف المخفية على نطاق واسع في الاستكشاف الالي للكلام، أين يتم نمذجة المعلومات الزمنية للكلام بصفة مثالية. تتمثل الفائدة الرئيسية منها في القدرة على حساب تغيرية الإشارة الصوتية من خلال معالجة مجموعات كبيرة جدًا من البيانات الصوتية، وهي ضرورية كتعديل جيد لنماذج ماركوف.

هذه النماذج هي حاليا من بين الأفضل أداء لحل التشفير الالي للصوت. بالمقابل، وبناءً على النمذجة الرياضية البحتة، فإنها لا تسمح بإدخال معارف صوتية أو لفظية بصورة واضحة.[Koza & at, 1994]

3.8. الشبكات العصبية الاصطناعية:

الشبكات العصبية الاصطناعية هي مصنفات مستوحاة من طريقة عمل الدماغ البشري، تتكون هذه البنية من شبكة عصبية تتكون من عدة طبقات، طبقة إدخال تستقبل إشارة الادخال، طبقة أو أكثر من الطبقات المخفية المسؤولة عن حل مشاكل التصنيف، وطبقة إخراج تعرض مخرجات الشبكة. [Wright, 1991] تعتبر هندسة الشبكات العصبية المتعددة الطبقات (MLP: *Multi Layers Perceptron*) من بين أشهر الطرق الكلاسيكية المستعملة.

تتكون هذه البنية من شبكة عصبية تتكون من عدة طبقات، وطبقة إدخال تستقبل إشارة دخل، طبقة أو أكثر من الطبقات المخفية المسؤولة عن حل مشاكل التصنيف، وطبقة إخراج تعرض مخرجات الشبكة.[Wright, 1991]

على الرغم من وجود عمليات حسابية قليلة أثناء مرحلة التصنيف، الشبكات العصبية المتعددة الطبقات تسمح بحل مشكلات التصنيف غير الخطية ذات الحدود المعقدة للقرار. بالإضافة إلى ذلك، نظرًا لأن الشبكات العصبية المتعددة الطبقات تتميز بهندستها وأوزان المقاطع الصوتية، فإن تمثيل المصنف متماسك جدًا.

لقد تم تطبيق الترابط على الاستكشاف الالي على الكلام لسعته الجيدة في تصنيف النماذج. تمتلك الشبكات العصبية الاصطناعية العديد من المزايا القوية ولكنها مع ذلك ليست مناسبة لمعالجة الإشارات المتسلسلة. لقد ثبت أن هذه الشبكات من الخلايا العصبية بما في ذلك الشبكات المتكررة المعقدة ليست قادرة على نمذجة الارتباطات طويلة الأجل، على عكس نماذج ماركوف المخفية التي تقوم بها بشكل جيد للغاية من خلال هذه القيود الطوبولوجية التي تتعامل مع القيود الصوتية، المعجمية والنحوية.

في السنوات الأخيرة، رأينا رغبة في التغلب على القيود الحالية للترابط. وبالتالي، ظهور أنواع جديدة من الانظمة المستوحاة من علم الأعصاب وعلم النفس أو خلط أساليب الاتصال مع غيرها من الرموز، وتسمى هذه النماذج عادة النماذج الهجينة أو العشوائية. [Ingber & Rosen, 1992]

9. خوارزميات التصنيف البيومترية:

تعتبر مشكلة تصنيف البيانات كواحدة من أصعب المسائل الرئيسية في استخراج المعرفة من البيانات. إذ على مدى عقود من الزمن تم مواجهة العديد من المشاكل الفرعية، مثل اختيار البيانات أو الواصفات، تنوع مساحات التمثيل (الرقمية، والرمزية، وما إلى ذلك)، التزايد، الحاجة إلى اكتشاف المفاهيم، والحصول على التسلسل الهرمي، ...الخ

حيث أدت الشعبية والتعقيد وكل هذه الاختلافات في مشكلة تصنيف البيانات إلى ظهور العديد من طرق الحل. هذه الطرق يمكن أن تستخدم كلا من المبادئ الاستدلالية والرياضية. ونذكر من بين هذه الطرق، فرع مستوحى بشكل أكثر تحديدا من مبادئ علم الأحياء (البيولوجيا). تنصب دوافع الباحثين من جهة على اختبار خوارزميات جديدة حول مشكلة التصنيف ومعرفة مدى كفائتها. لكنهم من جهة أخرى يقترحون مصادر جديدة للإلهام، لأن مشكلة التصنيف غالبًا ما توجد في الكائنات الحية الحيوانات منها والنباتات. [Michalewicz & Janikov, 1991]

وفيما يلي نظرة عامة على هاته المقاربات:

1.9. المقاربات التطورية:

تم التطرق لمفهوم الخوارزميات الوراثية وبصورة أعم الخوارزميات التطورية لحل مشكلة التصنيف لأول مرة في عام 1979. حيث يُثبت عدد الفئات أو المجموعات مسبقا أين يربط التمثيل الطولي n الفئة بكل معلومة. تعتبر العوامل الوراثية تكيفا مباشرا للعوامل الوراثية الثنائية.[Aissiou & Guerti, 2003a]

في سنة 2003، تم تطوير الخوارزمية الوراثية الوحيدة التي تستعمل تصنيفًا هرميًا ممثلا على شكل شجرة وسطية. هذه الخوارزمية محدودة في حالة البيانات العددية ولكنها لا تفترض عدد الفئات.[Gilleron & Tommasi, 2000]

أما الفئات الأخرى من الخوارزميات التطورية فقد كانت أقل تطوراً بكثير من الخوارزميات الوراثية. ليس هناك شك في أن الخوارزميات الوراثية للتصنيف كانت موضع اهتمام واستعمال أكبر من جميع الأساليب الأخرى مجتمعة، وهذا يرجع بالتأكيد إلى شعبيتها ولكن أيضًا إلى النجاحات التي حققتها كطريقة إجمالية مثالية. [Aissiou & Guerti, 2003b]

2.9. النمل الاصطناعي:

يرجع تاريخ أولى الأعمال على هذا المفهوم إلى التسعينيات، حيث اراد علماء الأحياء المهتمين نمذجة عمل النمل بطريقة رياضية وآلية، واستخدام هذه النماذج في أعمالهم. لذلك يعتبر دينوبورج رائداً في مجال فرز الاشياء بواسطة النمل الاصطناعي.

حيث يقترح مع زملائه المبادئ التالية: النمل الاصطناعي يتحرك بخطة. الاشياء التي يُراد جمعها يتم توزيعها على هذه الخطة. لدى كل نملة إدراك موضعي لهذه الأشياء ولكن لا تتواصل مع الآخرين. بالنظر إلى هذا، فإن تكوين الاشياء على السطح سيؤثر على تصرفاتها. عندما تصادف نملة شيئا، فإنها تجمعه مع احتمال معين يعتمد على تكرار مصادفة الاشياء في الماضي القريب.

بمعنى آخر، كلما صادفت النملة أشياء، قلت فرصة التقاطها. ثم، بمجرد التقاط شيئ، تنتقل النملة بشكل عشوائي في السطح، وتضعه مع احتمالية معينة زائدة على اعتبار أن النملة قد واجهت أشياء مؤخرًا.

هذه المبادئ البسيطة نسبياً تُمكن من ظهور مجموعات من الأشياء. يمكن تعميم هذه المقاربة على عدة أنواع من الكيانات، إذ أن هذه الخوارزمية تسمح إذا بفرز الكيانات.

من جهة أخرى، هناك نموذج جديد يسمح بالقيام بالتصنيف هرمي بصورة سريعة. وذلك نسخ الطريقة التي يبني بها النمل هياكل حية عن طريق التشبث ببعضها البعض وفقًا لمعايير خاصة (شكل الهيكل يؤثر على سلوك الترابط أو التفكك).

3.9. نظم المناعة:

نظم المناعة (SI: *Systèmes Immunitaires*) هي عبارة عن مجموعة من نماذج نظام المناعة البشري والحيواني المطبق على مسائل مختلفة في علوم الكمبيوتر. حيث تستخدم المبادئ التالية:

على العوامل أو الخلايا اللمفاوية التي تولد الأجسام المضادة التعرف على الذات من غير الذات أو المستضدات، لهذا، يجب أولاً إنشاء هذه العوامل باستخدام مبدأ تكوين اللبنة الأولية. ثم يخضعون لاختبار الاختيار. يتم التخلص من العوامل التي ترفض الذات، ويتم الاحتفاظ بالعوامل الاخرى التي ترفض عدم الذات. كلما تم التعرف على المستضد بواسطة جسم مضاد، يتم تعزيز وجود الخلايا اللمفاوية التي تولد هذه الأجسام المضادة من خلال عملية اختيار عن طريق الاستنساخ واختفاء الخلايا الليمفاوية التي لا يتم تحفيزها بواسطة المستضدات. هذا الاستنساخ يؤدي بالتالي إلى تفاعلات بين الخلايا الليمفاوية كما يمكن من حدوث طفرات.

عند استخدام بعض الخلايا اللمفاوية بصورة متكررة وطويلة، تأخذ دور عنصر الذاكرة على المدى الطويل. تتمتع هذه الأنظمة بخصائص معقدة لأنها قادرة على ايجاد حلول وتحديدها عن طريق كفاءتها وفقًا لكواشف أصلية. أما فيما يتعلق بالتصنيف، فإن مبادئ الأنظمة المناعية تكون على مستوى العام.[Holland, 1975]

10. الخاتمة:

قدمنا في هذا الفصل مبادئ فك التشفير اللفظي الصوتي والدور الذي تلعبه في أنظمة الاستكشاف الآلي للكلام. بالإضافة إلى ذلك، قمنا بدراسة المراحل المختلفة لحل التشفير اللفظي الصوتي بالإضافة إلى طبيعة المعلمات المفيدة المستخرجة من الاستمرارية الصوتية. كما ركزنا دراستنا على التصنيف الصوتي تحت الإشراف وشرح كيف سيتم استخدامه لتصنيف صوتيات اللغة العربية الفصحى من الكلام المستمر. لهذا، تم التطرق لمختلف نماذج التصنيف مع التركيز على الخوارزميات التطورية وبشكل خاص الخوارزميات الوراثية.

الفصل الرابع

المفاهيم الأساسية للخوارزميات الوراثية

1. مقدمة:

تمثل الخوارزميات الوراثية عائلة غنية ومثيرة للاهتمام من خوارزميات التحسين العشوائي على أساس آليات الانتقاء الطبيعي والوراثة.

لقد أحدث التطور البيولوجي أنظمة حية معقدة للغاية يمكنها حل المشكلات الصعبة جدا، مثل التكيف المستمر مع بيئة معقدة وغير ثابتة ومتغيرة باستمرار. لهذا، تتمتع الكائنات الحية الأعلى درجة، مثل الثدييات، بقدرة كبيرة على التعرف على الأنماط والتعلم والذكاء. تشير مجموعة واسعة من الحالات التي تكيفت فيها الحياة إلى أن عملية التطور قادرة على حل العديد من أصناف المسائل المعقدة.

في هذا الفصل، سنشرح المبادئ العامة لكيفية عمل الخوارزميات الوراثية، وكذلك دور العوامل الوراثية المختلفة المستخدمة، بما في ذلك تحديد الابعاد ومعاييرها الوقفية. كما سنسلط الضوء كذلك على أهمية اصطفاء مساحة التمثيل ونوع تشفير معلمات المسألة التي يتعين حلها وطبيعة الوظيفة الموضوعية. بالإضافة إلى ذلك، سندرس طرق الانتقاء الطبيعي والتقنيات المختلفة لتحسين أداء الخوارزميات الوراثية.

2. نشأة الخوارزميات الوراثية:

ظهور الأنواع المختلفة للكائنات هو نتيجة الانتقاء الطبيعي للمتغيرات الفردية للأفراد. هذا الانتقاء الطبيعي هو نضال مجتمع معين من أجل البقاء ومحاولة التوسع من خلال مواجهة العوائق المتعددة للبيئة (الظروف الخارجية) بوجود مساحة وموارد محدودة. حيث يكون للأفراد الأكثر تلائما مع هذه الظروف فرصة أفضل للبقاء والتكاثر.

بدأ العمل على ما يعرف حاليا بالخوارزميات التطورية (EA: *Evolutionary Algorithms*) في ستينيات القرن الماضي، وتحديدًا في الولايات المتحدة وأوربا. حيث كان جون هولاند (*John Holland*) وزملائه في جامعة ميتشيجان مهتمين بأنظمة الذكاء الاصطناعي القادرة على التأقلم تحت الظروف البيئية المتغيرة. وتكمن الفكرة أنه لكي تتمكن مجموعة من الأفراد من التأقلم في بيئة معينة، فإنها ملزمة بأن تَعمل كما يعمل النظام الطبيعي.

وكانت رؤية جون هولاند هي بناء خوارزميات وراثية تمتلك خصائص التطور الطبيعي، وتحويل هذه الخصائص إلى شكل يمكن معالجته رياضيًا، ثم استخدام تلك الخوارزميات وتطبيقها في حل الكثير من المشكلات الموجودة في الواقع. [Tomassini, 1995]

حيث أجرى الأستاذ جون هولاند مع طلابه دراسة واسعة وضعت أسس الخوارزميات الوراثية باتباع مبادئ داروين في الوراثة (الاصطفاء، التهجين، الطفرة، الصبغي، الجينات). حيث تمكن من تطوير خطوات الخوارزمية ومبادئ التشفير الخاصة بها. كما رسم الآفاق العظيمة لتطبيق الخوارزميات الوراثية. اجتذب هذا العمل اهتمامًا متزايدًا علماء الرياضيات.

3. تعريف الخوارزميات الوراثية:

الخوارزميات الوراثية (AG: *Algorithmes Génétiques*) هي جزء من مجموعة أكبر من الخوارزميات تُسمَّى الخوارزميات التطورية (AE: *Algorithmes Évolutionnaires*). استخدم علماء الحاسوب نظرية التطور لداروين، ومصطلح «البقاء للأفضل»، في بناء أنظمة برمجية قادرة على إيجاد الحل الأفضل لمسألة معينة ما بين مجموعة كبيرة من الحلول، وذلك عن طريق تطور هذه الحلول من جيل إلى جيل، وكل جيل يتطور ليصبح أفضل من الجيل السابق له. يستخدم علماء الحاسب نظرية التطور للإلهام فقط، وليس شرطًا أن يبنوا أنظمة وخوارزميات تستخدم نظرية التطور كما هي في علم الأحياء، بل لهم الحرية في أخذ ما يفيدهم وما يريدونه وترك ما لا يفيدهم وما لا يريدونه.

4. أهداف الخوارزميات الوراثية:

الهدف من الأبحاث في مجال الخوارزميات الوراثية هو تحسين المتانة وتحقيق التوازن بين الأداء والتكلفة للبقاء في البيئة. حيث تستخدم كبديل لتحسين الوظائف عندما عجز الطرق التقليدية، مثل الطرق غير المباشرة التي تسعى للوصول إلى الحدود القصوى المحلية عن طريق حل أنظمة المعادلات والطرق المباشرة التي تتبع التدرج أو التعداد. سواء في تطبيقها أو فشلها.[Goldberg, 1989]

مجالات تطبيق الخوارزميات الوراثية متنوعة جدا. فيمكن ايجادها في نظرية الرسوم البيانية (*Théorie des graphes*) وكذلك في ضغط الصور الرقمية أو في البرمجة الآلية، واستكشاف الاشكال ونظم التصنيف الآلي.

يمكن استخدام الخوارزميات الوراثية للتحكم في نظام متطور بمرور الوقت (خط الإنتاج، محطة الطاقة النووية ...) لأن المجتمع يمكنه التكيف مع الظروف المتغيرة. يمكن استخدامها أيضًا لتحديد تكوين الطاقة الدنيا للجزيء.

يمكن استخدامها أيضا لإيجاد معلمات نموذج إشارة من خلال القياسات التجريبية.

يمكن تلخيص مميزات الخوارزميات الوراثية مقارنة بالمقاربات الأخرى في خمس نقاط:

- تستخدم تشفير المعلمات وليس المعلمات نفسها.
- تعمل على مجتمع من النقاط وليس على نقطة معينة.
- تستخدم الوظائف او الدوال المدروسة فقط، وليس خصائصها (مثل التحول أو غيره).
- تستخدم قواعد التحولات الاحتمالية وليس الحتمية (*Déterministes*).
- تستخدم استراتيجيتين أساسيتين لإيجاد حل أو مجموعة من الحلول. وهي الاستكشاف والاستغلال، حيث تمكن من إيجاد حل للمسألة المطروحة، لأنها متكاملة.

5. الخوارزميات الجينية وقوانين الطبيعة:

يحدث التطور في الطبيعة عندما يكون لدى الكيانات القدرة على التكاثر، مع وجود مجتمع من هذه الكيانات، بالإضافة للتنوع (الاختلاف) من خلال هذه الكيانات، كما أن بقاء هذه الكيانات يعتمد على الاختلاف بينها. فكل كيان حي له نمط جيني ونمط ظاهري:

التشابه الموجود بين الخوارزميات الوراثية وعلم الوراثة يلخص في الاتي:

- يؤدي التكاثر إلى انتقال الجينوم إلى أفراد الذرية، وهذا ما يحافظ على الجينات المؤدية إلى الأداء المتفوق.

- سلاسل النظم الوراثية الاصطناعية التي ترتكز عليها الخوارزميات الوراثية تشبه صبغيات النظم البيولوجية. إذ أنها تحمل المعلومات الوراثية للفرد. وهكذا، فالفرد يتكون من مجموعة من الجينات. (الجدول 1.4)
- تنقسم الصبغيات إلى جينات قد تكون لها قيم مختلفة تسمى السلالات. يتم تحديد موضع الجين في كروموسوم بواسطة موضعه.
- الجين هو خاصية وراثية للفرد. في الخوارزميات الوراثية، يكون للجينات قيم تنتمي إلى أبجدية تعتمد على المسألة المراد حلها. يمكن أن يكون لدينا سلالات ثنائية أو عشرية أو ست عشرية. كما يمكننا تخيل أنواع أخرى من التشفير.
- الجيل هو مجتمع في لحظة t. تقيم الخوارزميات الوراثية المجتمع بخلق جيل جديد من الأفراد أكثر تكيفا. ويتم هذا التطور من خلال عمليات التكاثر والتهجين والتطافر.
- دالة التكيف هي دالة تقيس تكيف الفرد في مجتمع ما. هذا هو حجر الزاوية في الخوارزميات الوراثية. من المهم جدًا تحديد دالة تكيفية جيدة لمسألة معينة، والتي هي بالتأكيد أكبر تحدٍ تواجهه الخوارزمية الوراثية.

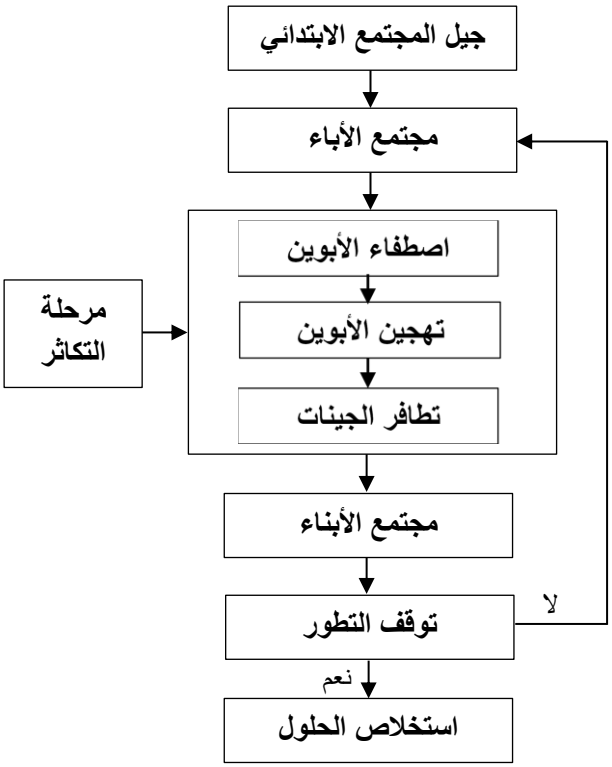
في الطبيعة	في الخوارزميات الوراثية
الجينوم	فرد
الصبغي	سلسلة، تسلسل
الجينات	الميزات والخصائص
السلالة	قيمة الخاصية
الموضع	الموقع في السلسلة
النمط الجيني	البنية
النمط الظاهري	مجموعة من الثوابت بنية غير مشفرة

الجدول 1.4: تشابه المصطلحات الوراثية مع الطبيعة

6. المبادئ الأساسية للخوارزميات الوراثية:

الخوارزميات الوراثية هي خوارزميات تحسين تستند إلى التقنيات المستمدة من علم الوراثة والتطور الطبيعي: التهجين، الطفرة، الاختيار، إلخ. (الشكل 1.4)

حيث تستخدم مبادئ البقاء للعناصر الأكثر تكيفا، وتبادل المعلومات الشبه العشوائية. وتعتمد بصورة كبيرة على العشوائية لكن ليس العشوائية البحتة.



الشكل 1.4 : هيكل الخوارزميات الوراثية

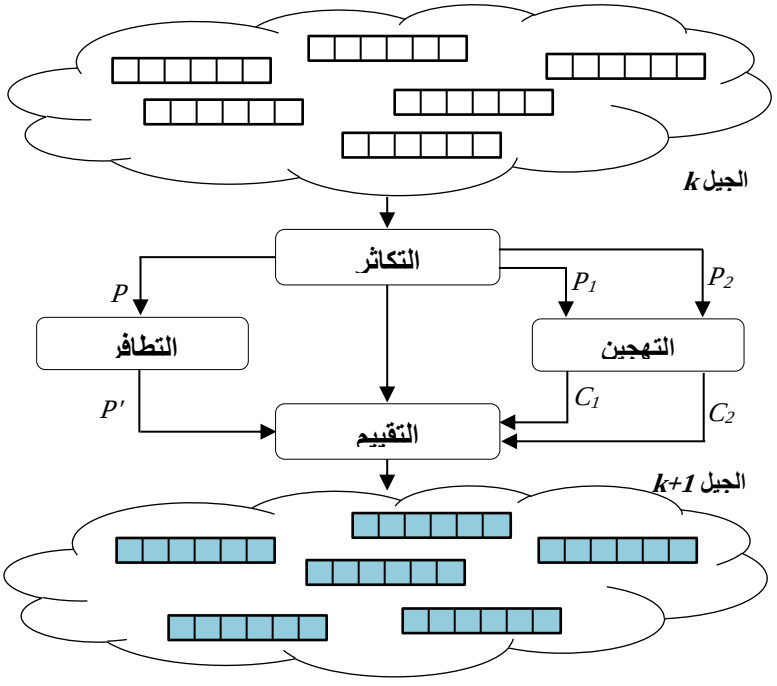
لاستخدامها، يجب أن نتبع الخطوات التالية:

- تشفير أفراد المجتمع. هذه الخطوة ترتبط مع كل من نقاط مساحة الحالة للبنية البيانية. وعادة ما تحدث بعد مرحلة النمذجة الرياضية للمسألة. تعتبر نوعية تشفير البيانات شرط نجاح الخوارزميات الوراثية. في البداية كان يستخدم التشفير الثنائي على نطاق واسع. أما الآن فيتم استخدام التشفير الحقيقي بدلا عن التشفير الثنائي، لا سيما في المجالات التطبيقية لتحسين المسائل ذات المتغيرات الحقيقية.
- إنشاء آلية لتوليد جيل المجتمع الأولي. حيث يجب أن تكون هذه الآلية قادرة على إنتاج مجموعة غير متجانسة من الأفراد تعمل كأساس للأجيال القادمة. اختيار المجتمع الأولي أمر مهم لأنه يمكن أن يجعل التقارب نحو المثالية الاجمالية أقل سرعة.
- تعريف الدالة المراد تحسينها. وهذا ما يسمى دالة التكيف (*fonction de fitness*)، أو دالة تقييم الفرد.

- استخدام العوامل لتنويع المجتمع على مر الأجيال واستكشاف مساحة الحالة. يعيد عامل التهجين جينات الأفراد الموجودين في المجتمع، ويهدف عامل الطفرة إلى ضمان استكشاف مساحة الحالة.
- تعريف معلمات القياس: حجم المجتمع، العدد الإجمالي للأجيال أو معايير التوقف، احتمالات تطبيق عوامل التهجين والتطافر.

نبدأ بتوليد مجتمع من الأفراد بشكل عشوائي، للانتقال من جيل k إلى الجيل $k+1$، تتكرر العمليات الثلاث التالية لجميع عناصر المجتمع k:

- يتم اختيار الأزواج من الآباء P_1 و P_2 وفقا لمكيفاتهم. يتم تطبيق عامل التهجين عليهم مع احتمالية P_c (عادة حوالي 0.6) مما يولد أزواج من الأبناء C_1 و C_2.
- يتم اختيار عناصر أخرى P حسب تكيفها. يتم تطبيق عامل التطافر عليهم مع احتمال P_m. P_m عموما أقل بكثير من Pc مما يولد أفراد التطافر P' [A.H. Wright, 1991]
- يتم بعد ذلك تقييم مستوى تكيف الأطفال C_1 و C_2 والأفراد المتحورين P' قبل إدخالهم في المجتمع الجديد.(الشكل 2.4)



الشكل 2.4: المبدأ العام لعمل الخوارزميات الوراثية

يمكن اختيار معايير مختلفة لإيقاف الخوارزمية:

- يمكن تحديد عدد الأجيال التي نرغب في تنفيذها بشكل مسبق.
- يمكن إيقاف الخوارزمية عندما لا يتطور المجتمع أو يتطور ببطء شديد.

1.6. التهيئة الابتدائية للمجتمع:

يتكون المجتمع الابتدائي من مجموعة من الأفراد (الكروموسومات) المنشئة عشوائيًا. إلا أنه لا مانع في استخدام النتائج والحلول الموجودة سابقا لتشكيل المجتمع الابتدائي. بمعنى آخر، يمكن حقن مجموعة من الحلول المعروفة مسبقًا في المجتمع الابتدائي.

يعد عدد أفراد المجتمع أو حجم المجتمع معلمة مهمة للخوارزميات الوراثية والتي يجب تحديدها. يمثل المجتمع المعرف بـ P على النحو التالي:

الصيغة 1
$$P = (C_1, C_2, \ldots, C_i, \ldots, C_{taille_pop})$$

C_i : الكروموسوم i في المجتمع.

$Taille_pop$: عدد الكروموسومات في المجتمع.

2.6. التشفير وفضاء التمثيل:

يتطلب التشفير أبجدية. حيث نفضل الحروف الهجائية التي تحتوي على أقل عدد من الرموز لربح الكفاءة عند تطبيق عوامل التكاثر.

كل مرشح يكون على شكل سلسلة من الرموز المشكلة بهذا المبدأ.

1.2.6. التشفير:

تعالج الخوارزميات الوراثية مجتمعات من الأفراد. يتم تمثيل كل فرد من خلال سلسلة من الأحرف. ومع ذلك، يمكننا ضمنيا اعتبار انها تعالج المخططات. يقدم هذا المفهوم فكرة جديدة، اللبنة الاساسية أو المخطط *(Schème)*.[Holland, 1975]

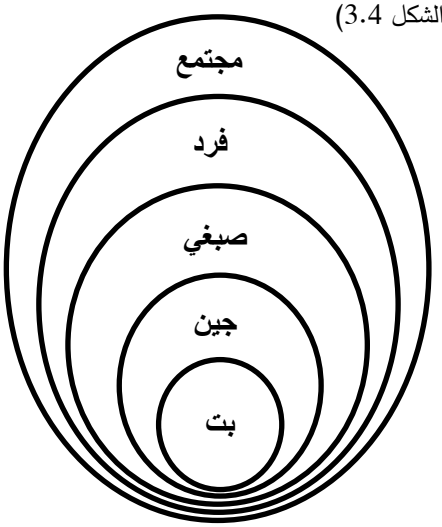
المخطط هو جزء من الأفراد بطول معين يحمل عدد من المواضع الممثلة. حيث نقوم بمطابقة جين لكل متغير تحسين X_i (في كل معلمة للجهاز).

نسمي كروموسوم مجموعة من الجينات. يمثل كل جهاز بواسطة فرد له نمط جيني يتكون من كروموسوم واحد أو أكثر.

نسمي مجتمع، المجموعة N من الأفراد التي سيتم تطويرها.

من وجهة نظر الاعلام الالي، غالبًا ما يستخدم التشفير الثنائي. أي أن الجين هو عدد صحيح طويل (32 بت/32 $bits$). الكروموسوم عبارة عن مجموعة من الجينات. الفرد هو مجموعة من الكروموسومات. أما المجتمع فهو عبارة عن مجموعة (جدول) من الأفراد. إلا أنه يمكن استخدام أشكال أخرى من التشفير (التشفير الحقيقي، تشفير قراي، ...إلخ). [Caruana & Schaffer, 1988]

هذا يقودنا إلى هيكل مع خمسة مستويات من التنظيم، و هذا ما يفسر السلوك المعقد للخوارزميات الوراثية. (الشكل 3.4)



الشكل 3.4: المستويات الخمسة لتنظيم الخوارزميات الوراثية

واحدة من مزايا التشفير المزدوج (الثنائي) هي أنه يمكننا بسهولة تشفير جميع أنواع الكائنات بما في ذلك الأعداد الحقيقية والأعداد الصحيحة والقيم المنطقية والسلاسل. يتطلب ذلك ببساطة استخدام دوال التشفير وفك التشفير للانتقال من تمثيل إلى آخر.

إذا كانت المتغيرات n حقيقية. فإننا نعتبر فضاء البحث محدود، مثل:

الصيغة 2
$$\forall i \in [1,..., n] \qquad x_{i\min} \le x_i \le x_{i\max}$$

من أجل تشفير المتغيرات الحقيقية بالترميز الثنائي، نقوم بتقدير فضاء البحث. وبالتالي فإن الترميز 32 بت يتضمن فصلا للمجالات مثل:

الصيغة 3
$$g_{\max} = 2^{32} - 1$$

مع: $g_{\max}$ عدد القيم المنفصلة.

نربط كل متغير حقيقي x_i بعدد صحيح طويل كما يلي:

الصيغة 4
$$\forall i \in [1,..., n] \qquad 0 \le g_i \le g_{\max}$$

إذا صيغ التشفير وفك التشفير هي:

الصيغة 5
$$g_i = \frac{x_i - x_{i\min}}{x_{i\max} - x_{i\min}} g_{\max}$$

ليكون:

الصيغة 6
$$x_i = x_{i\min} + (x_{i\max} - x_{i\min}) \frac{g_i}{g_{\max}}$$

2.2.6. فضاء البحث:

يعتبر فضاء البحث المكون الرئيسي للخوارزمية. في كثير من الحالات، يتم تحديد فضاء البحث كليا من خلال المسألة (الدالة الموضوعية). هذا الفضاء (أين يتم تطبيق العوامل الوراثية) يسمى الفضاء الوراثي، وفضاء البحث الابتدائي، التي يتم فيها حساب أداء الأفراد، يسمى الفضاء الظاهري.

من بين فضاءات البحث الأكثر استخدامًا:

- فضاء البحث المرمز له بـ Ω حيث:

$$\Omega = \{0, 1\}^N$$ الصيغة 7

يعتمد مبرر الاستخدام المكثف لهذا الفضاء البحثي الخاص من جهة على تواز أكثر دقة مع علم الأحياء (سلسلة بت (*bits*) تمثل صبغي) ومن جهة أخرى على اعتبارات نظرية.

- الأشعة الحقيقية: هي الحالة الأكثر شيوعًا في الحساب العددي. Ω هي مجموعة فرعية من R^n، محددة أو لا. إذا نحن نتحدث عن الاستمثال المُعَلَم (*Optimisation paramétrique*).

3.6. دالة التقييم:

تضع دالة التقييم أو التكيف تكلفة بكل صبغي. إذ يجب أن نميز بين الدالة الموضوعية *(Fonction objectif)* ودالة التكيف. بمعنى آخر، هذه الدالة، والتي تسمى أيضًا دالة الجودة، تحدد نوعية المرشح للحل أو درجة تكيفه. في بعض الحالات، قد تكون متطابقة، ولكن بشكل عام تعتمد دالة التكيف على الدالة الموضوعية، والتي تعتمد على طبيعة المسألة التي يتعين حلها.

يتم الحصول على الحل الأمثل للمسألة من دالة تقييم كروموسوم. في حالة وجود مشكلة التصغير *(Minimisation)*، يرتبط الحل بأصغر قيمة تم العثور عليها من خلال دالة التكيف المحسوبة لكل فرد من المجتمع. في حالة تكبير القيمة، ستؤخذ في الاعتبار أكبر قيمة للدالة.

هذه الدالة حساسة بشكل خاص بسبب اختيار معايير الجودة للفرد فيما يتعلق بالمسألة المطروحة. علاوة على ذلك، فإن المسألة ليست مُنمذجة بشكل عام على خلاف ذلك، فما الفائدة من استخدام الخوارزميات الوراثية.

يمكن أن تكون دالة التكيف أحادية المعيار أو متعدد المعايير. دالة التكيف الأحادية المعيار تعني أن الدالة تعتمد على دالة موضوعية واحدة، ومن ناحية أخرى، تعتمد دالة التكيف متعددة المعايير على تركيبة من عدة دوال موضوعية، ومن ثم تظهر فكرة الهدف الواحد والأهداف المتعددة.

في الحالة الأولى، تعريف دالة التكيف لا يشكل مشكلة على العموم لأنه تحسين بسيط للحل.

في الحالة الأخرى، يجب أن تفي مسائل التحسين بالأهداف المتعددة O_i. تقوم الطريقة الكلاسيكية بتعريف دوال موضوعية هادفة، وترجمة كل هدف ليتم تحقيقه، ودمجها في دالة التكيف. وبالتالي نعكف على ايجاد حل وسط. أبسط هذه الحلول هو الوصول إلى مجموع مرجح من الدوال الموضوعية. بدلاً من مجموع، يمكننا أيضًا استخدام جداء لهذه الدوال.

هناك عدة طرق لتعريف دوال التحسين (الاستمثال) التي تعتمد على المسألة التي يتعين حلها.

1.3.6. طريقة المقياس الثابت:

طريقة المقياس الثابت، والمعروفة باسم "échelle fixe" هي أسهل طريقة لحساب قيمة دالة تكيف f_i للصبغي C_i :

$$f_i = O_i$$ **الصيغة 8**

O_i : الدالة الموضوعية للصبغي C_i

2.3.6. طريقة تغيير المقياس الخطي:

طريقة تغيير المقياس الخطي*(changement linéaire d'échelle)* تحتوي على دالة تكيف f_i للصبغي C_i، و الذي يرتبط ارتباطًا خطيًا بقيمة الدالة الموضوعية O_i . [Bridges & Goldberg, 1991]

الصيغة 9
$$f_i = a.o_i + b$$

a و b: يتم اختيارهما وفقا لقيم الدوال الموضوعية للأفراد. [Goldberg, 1989]

هذه الطريقة تنتج حلا جيدا. ومع ذلك، يمكن أن تكون هذه الدالة التكيفية هذه سلبية. لتجنب القيمة السالبة، لابد من استبدالها بقيمة معدومة 0.

3.3.6. طريقة سيغما المبتورة *(Sigma tronqué)*:

يتم استخدام طريقة سيغما المبتورة *(Sigma tronqué)*، عندما تكون قيمة الدالة الموضوعية سالبة. يتم حساب قيمة f_i للصبغي C_i على النحو التالي:

الصيغة 10
$$f_i = o_i(c)$$

C: قيمة عددية صغيرة.

O_i: متوسط الدوال الموضوعية. هذا المتوسط يتوافق مع المبلغ المرجح لجميع قيم وظيفة كل فرد من المجتمع.

مع:

الصيغة 11
$$o_i = a_{i=1}^{taille_pop\ 0}$$

$taille_pop$: الانحراف القياسي للمجتمع. من أجل تجنب القيمة السلبية f_i، يتم تبديل كل نتيجة سلبية بصفر 0.

7. الاصطفاء الطبيعي:

لإنشاء أحفاد جديدة (أبناء)، يتم اختيار الآباء ويتم تطبيق العمليات الوراثية عليهم.

1.7. طرق الاصطفاء (الاختيار):

هناك طريقتان للاصطفاء أو الاستبدال: الطرق المحددة او الحاسمة (*déterministes*) و الطرق العشوائية (*stochastiques*).[Goldberg, 1989]

1.1.7. الاصطفاء المحدد:

الاصطفاء الحاسم يمكن اختيار أفضل الأفراد (بمعنى دالة الأداء). يتم استبعاد الأفراد الأقل أداء من المجتمع تمامًا، ويتم اختيار أفضل فرد دائمًا. ويعرف هذا بالنخبوية (*élitisme*).

2.1.7. الاصطفاء العشوائي:

في هذه الحالة يتم تفضيل أفضل الأفراد دائما، ولكن بطريقة عشوائية، وهذا يترك فرصة للأفراد الأقل كفاءة. من ناحية أخرى، قد يحدث عدم اختيار أفضل فرد، ولا يحقق أي ابن أداءً جيدًا مثل يضاهي أداء أفضل الاباء.

الاصطفاء عن طريق السحب الدوالبي هو الاختيار العشوائي الأكثر شهرة.

2.7. مبادئ الاصطفاء:

الاصطفاء يسمح بتحديد إحصائي لأفضل الأفراد في مجتمع ما والقضاء على السيئين منهم. يوجد عدد كبير من مبادئ الاصطفاء تتكيف أكثر أو أقل مع المسائل التي يجب معالجتها:

- الاصطفاء عن طريق الترتيب (*Rangement*). هو أبسط مبدأ للاختيار. حيث يقوم بإسناد تصنيف لكل فرد حسب ترتيب التكيف.
- الاصطفاء عن طريق السحب الدوالبي، والذي يقوم بربط كل فرد بجزء يتناسب طوله مع تكيفه.
- الاصطفاء حسب الرتبة، والذي يقوم بالاختيار باستخدام العجلة (السحب الدوالبي) التي تتناسب قطاعاتها مع رتبة الأفراد.
- الاصطفاء عن طريق الدورة (*Tournoi*) والذي لا يستخدم أيضًا إلا مقارنات بين الأفراد ولا يتطلب حتى فرز المجتمع. حيث لديه معلمة T التي تمثل حجم الدورة.

3.7. تقنيات الاصطفاء:

لاصطفاء أفضل الصبغيات في مجتمع ما، يقترح بعض المؤلفين بعض التقنيات. هذه التقنيات هي: الاصطفاء بالرتبة (*Rang*)، الاصطفاء بالسحب الدوالبي (*Roulette*)، الاصطفاء عن طريق الدورة (*Tournoi*)، الاصطفاء المنتظم (*Uniforme*). [Ingber & Rosen, 1992]

1.3.7. الاصطفاء المنظم أو المنسق (*Ordonnée*):

باستخدام تقنية الاصطفاء المنظم، والتي تسمى أيضا الاصطفاء بالرتبة، يتم تقييم كل كروموسوم C_i من مجتمع P من خلال دالة التكيف f_i. يتم ترتيب قيم دالة التكيف التي المحصل عليهم لجميع الكروموسومات بترتيب تصاعدي أو تنازلي. حيث يتم اختيار أفضل الكروموسومات.

2.3.7. السحب الدوالبي المنحاز:

تقنية السحب الدوالبي المنحاز (*Roulette*) هي الأكثر استخدامًا في الأدب. ويسند لكل كروموسوم C_i احتمال بقاء p_i يتناسب مع قيمته f_i في المجتمع كالآتي:

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^{taille_pop} a_i}$$ **الصيغة 12**

$\sum_{i=1}^{taille_pop} a_i$: مجموع جميع قيم وظائف التكيف لكل كروموسوم C_i من السكان P. خلال المرحلة p_i المرتبطة لتشكيل مجتمع الجيل الجديد.

يتم ذلك لحساب احتمال الاختيار التراكمي q_i كالآتي:

$$q_i = \sum_{i=1}^{j} p_i$$ **الصيغة 13**

يتم إنشاء عدد حقيقي r عشوائيًا من المجال [0،1]. تُنتج هذه القيمة عدة مرات حسب حجم المجتمع *taille_pop*. يتم اختيار الفرد C_i عندما: $q_{i-1} < r < q_i$

3.3.7. الاصطفاء عن طريق الدورة (*Tournoi*):

تستخدم تقنية الاصطفاء عن طريق الدورة طريقة السحب الدوالبي المنحاز لاصطفاء فردين. حيث يتم اصطفاء الفرد الذي تكون قيمة دالته التكيفية هي الأكبر. تختار هذه الطريقة دائمًا قيمة دالة التكيف الأعلى مقارنة بتقنية السحب الدوالبي المنحاز.

4.3.7. الاصطفاء المنتظم:

هذه التقنية للاختيار المنتظم (*Uniforme*) بسيطة جدا. فهي تقوم باختيار الفرد C_i عشوائيا من المجتمع P. الاحتمال p_i لاصطفاء فرد يعرف كالاتي:

$$p_i = \frac{1}{taille_pop}$$

الصيغة 14

4.7. التحسين الكلاسيكي للاصطفاء:

عمليات الاصطفاء المقدمة حساسة للغاية لاختلافات التكيف (*Qualité*) وفي بعض الحالات، من المحتمل أن يتكاثر الفرد الجيد جدًا بكثرة وقد يتسبب في القضاء التام على أقرانه.[Ingber & Rosen, 1992]

لتجنب هذا السلوك، هناك تقنيات اصطفاء أخرى بما في ذلك تقنية تغيير المقياس (*Changement d'échèle*) وتقنية المشاركة (*Partage*)، والتي تمنع الأفراد الأقوياء من القضاء على الأضعف.

1.4.7. تقنية تغيير المقياس:

يُعدل تغيير المقياس (*Changement d'échèle*) التكيف (*Qualité*) لتقليل أو تضخيم الاختلافات بين الأفراد اصطناعيا. حيث تصبح عملية الاصطفاء لا تعمل على التكيف الفعلي المدون f_r ولكن على صورته بعد تغيير المقياس f_s. [Michalewicz, 1992]

هناك عدة أنواع من تغيير المقياس:

- يتم تعريف تغيير المقياس الخطي على النحو التالي:

الصيغة 15
$$f_s = a.f_r + b$$

$$b = \frac{\min'.\max - \min.\max'}{\max - \min} \quad ، \quad a = \frac{\max' - \min'}{\max - \min}$$

كقاعدة عامة $a < 1$ ، يساعد هذا على تقليل الفجوات في التكيف وبالتالي تشجيع استكشاف الفضاء. هذا النوع من القياس ثابت فيما يتعلق برقم الجيل ويعاتب نهاية التقارب عندما نرغب في تفضيل الأوضاع السائدة.

- يتم تعريف تغيير المقياس الأسي على النحو التالي:

الصيغة 16
$$f_S = (f_r)^{k(n)}$$

n: الجيل الحالي.

$k \approx 0$: في هذه الحالة نحد بشكل حاد من فجوة التكيف. لا يفضل أي فرد فعلاً وتتصرف الخوارزمية الوراثية مثل خوارزمية البحث العشوائي حيث تتيح استكشاف فضاء البحث.

$k \approx 1$: تغيير المقياس غير فعال.

$k > 0$: يتم المبالغة في الفجوات (التباعد) حيث يتم اختيار الأفراد الجيدين فقط، الأمر الذي ينتج عنه ظهور الأنماط.

تطبيقيا، بشكل عام نقوم بتغيير k بقيم منخفضة إلى قيم عالية عبر الأجيال. لهذا يمكننا استخدام الصيغة التالية:

الصيغة 17
$$k = \left[\tan\left[\left(\frac{n}{N+1} \right) \frac{\pi}{2} \right] \right] P$$

n: الجيل الحالي.

N: إجمالي عدد الأجيال المتوقعة.

P: معلمة للاختيار. أثبت اختيار $p=0.1$ أنه مناسب في التطبيقات.

هذا المبدأ الأخير للقياس يعطي نتائج أفضل من القياس الخطي وبالتالي يتم استخدامه بشكل منهجي. في حالة وجود دوال موضوعية متعددة الانماط تعطي مثاليات شبه مكافئة، فإن تقنية القياس هذه، ومن خلال تضخيم فجوات التكيف في نهاية التقارب، ستفضل في الواقع النمط المهيمن ولكن أيضًا تخفي الانماط دون المثالية والتي لا يزال بإمكانها تقديم فائدة.

يسمح تغيير المقياس باستكشاف مساحة الحالة بشكل جيد لكنه لا يفضل توزيع الأفراد على الأنماط المختلفة للدالة الموضوعية.

2.4.7. تقنية المشاركة:

بنفس طريقة القياس، تنطوي المشاركة (*Partage*) على تعديل التكيف (*Qualité*) المستخدم في عملية الاصطفاء. لتجنب تجمع الأفراد حول ذروة مهيمنة، فإن المشاركة تعاقب التكيف بناءً على معدل تجمع أفراد المجتمع في جوار فرد. يتطلب إدخال مفهوم المسافة. تطبيقيا، من الضروري تحديد بعد يشير إلى الاختلاف بين فردين. ثم يتم استخدام هذه المسافة لحساب التكيف الجديد على النحو التالي:

$$f_i' = \frac{f_i}{m_i'};$$

$$m_i' = \sum_{j=1}^{j=N} S(d(x_i, x_i))$$

الصيغة 18

$$S(d) = 1 - S(\frac{d}{\sigma_{share}}).\alpha \qquad \text{اذا كان} \qquad d < \sigma_{share}$$

$$S(d) = 0 \qquad \text{اذا كان} \qquad d > \sigma_{share}$$

تحدد المعلمة σ_{share} جوار نقطة ما وتعتمد على المشكلة التي تتم معالجتها.

تطبيقيا، فإن هذا النوع من المشاركة يعطي في الواقع نتائج جيدة، ولكن بـ$N2$ حساب للمسافات بين الكروموسومات في كل جيل للمجتمع من الحجم N.

8. العوامل الوراثية للتكاثر:

خلال المرحلة الإنجابية من للخوارزمية الوراثية، يتم اختيار الأفراد من المجتمع على أساس طريقة الاصطفاء المختارة ويتم إعادة تجميعهم لإنتاج أطفال من الجيل التالي. تستخدم هذه المرحلة آليات التناسل وهي: التهجين (*Croisement*) والطفرة (*Mutation*).

تجدر الإشارة إلى أن هذه الخطوة هي دائما العشوائية، وهذا يعني أن نتيجة تطبيق عامل يعتمد على السحوبات العشوائية.

تتعلق طرق التكاثر المقترحة في الأدب بالكروموسومات التي يكون تمثيل الجينات فيها ثنائيًا. في حالة وجود مسألة تحسين (استمثال) أين تكون جينات الكروموسوم أرقامًا حقيقية، وقبل إجراء عمليات التكاثر، يتم تحويل جينات الكروموسوم إلى مجموعة بت (*bits*) (16 أو 32 بت)، ثم تجرى عمليات التكاثر على هذا التمثيل الثنائي.

لحل مشكلة في مجال البحث المستمر، يتم تحويل كل معلمة (جين) C_i من كروموسوم C المحدد في المجال $[a_i,b_i]$ إلى كود ثنائي بحيث يتم تحويل المجال $[a_i,b_i]$ إلى مجموعة $\{0,...,2L_i\}$ حيث L_i هو عدد البت. يصبح للكروموسوم المحول بعد كبير يفي الدقة العددية العالية المطلوبة لحل المسألة. أثناء تنفيذ الخوارزميات الوراثية، يتم تنفيذ العديد من العمليات غير الضرورية مما يؤدي إلى استكشاف الكثير من فضاء البحث. هذا الاستكشاف يقوم بمسح حلول لا معنى لها مما يعني أن الخوارزمية لن تتقارب. للتغلب على هذا النوع من المشاكل، يتم استخدام التمثيل الحقيقي بدلاً من التمثيل الثنائي. من أجل حسن أداء الخوارزميات الوراثية، تم اقتراح العديد من العوامل في الأدبيات وتم تطبيقها في مجالات مختلفة إما باستخدام ترميز ثنائي أو ترميز حقيقي.

1.8. تقنيات التهجين (*Croisement*):

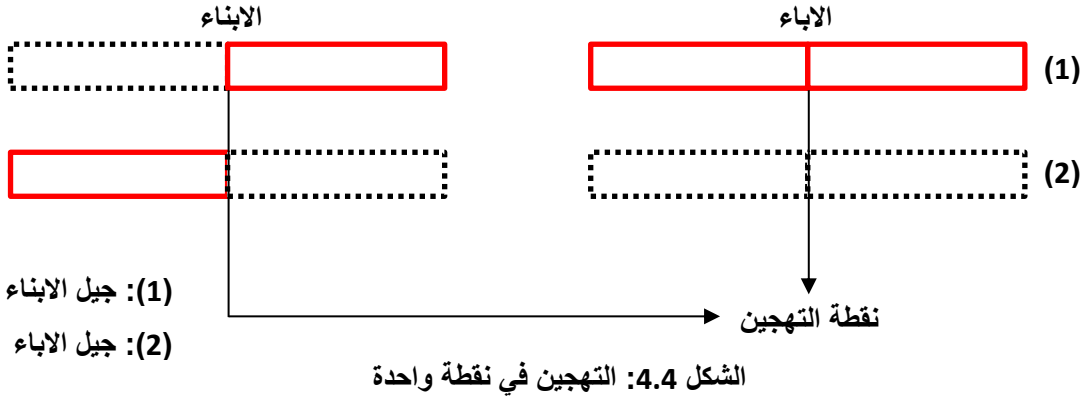
الغرض من التهجين هو إثراء تنوع المجتمع من خلال التلاعب في هيكل الكروموسومات. الفكرة العامة للتهجين هي تبادل المواد الوراثية بين الوالدين. تقليديا، يتم تنفيذ التهجين بواسطة والدين لتوليد ابنين.

ينسب لكل فرد نفس الاحتمال p للمشاركة في تهجين. عامل التهجين يعزز استغلال فضاء البحث. ويضمن خلط المواد الجينية وتراكم الطفرات المفضلة. بمعنى آخر، يتيح هذا العامل إنشاء مجموعات جديدة لها خصائص مشتركة مع والديهم. في كثير من الأحيان يتم تمرير أفضل الميزات إلى النسل. هذا النقل يسمى التوريث.

توجد تقنيات تهجين مختلفة. تطبق كل تقنية على الكروموسومات التي يكون تمثيلها ثنائيًا أو حقيقيًا.

1.1.8. التهجين السهل (البسيط):

نختار عشوائيًا نقطة تهجين لكل زوج مختار من الأفراد. تجدر الإشارة إلى أن التهجين يحدث مباشرة على مستوى الجينات الممثلة إما في ثنائيا أو حقيقيا. لا يمكن قطع كروموسوم في وسط الجين. ويسمى هذا النوع من التهجين أيضًا التهجين بنقطة واحدة (*Croisement dans un point*). (الشكل 4.4)

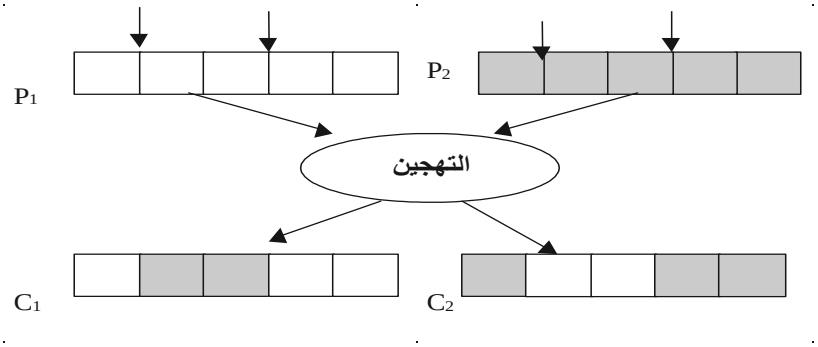


الشكل 4.4: التهجين في نقطة واحدة

2.1.8. التهجين المتعدد:

مال العديد من الاخصائيين الى استخدام نقاط قطع متعددة تتعلق بعامل التهجين. عدد نقاط القطع التي تم إنشاؤها في المتوسط هو $L/2$ حيث L هو حجم الصبغي. تنطبق هذه التقنية على كل من التشفير الثنائي أوالحقيقي للكروموسومات. [Bridges & Goldberg, 1991]

هذه التقنية تستخدم على نطاق واسع في تطبيقات مختلفة نظرا للنتائج المرضية المحصل عليها. ويسمى التهجين بالقطع المتعدد النقاط للكرموسوم (*Croisement Multipoints*). (الشكل 5.4)



الشكل 5.4: التهجين بتقسيم الصبغي في نقطتين (*Croisement Bipoint*)

3.1.8. التهجين المنتظم:

هذه التقنية مختلفة تماما عن التقنيتين السابقتين. يتم إنشاء قناع تهجين بشكل عشوائي لكل زوج من الأفراد أو لكل جيل. تكون قيم هذا القناع ثنائية وحجمها مطابق لحجم الكروموسوم.

طريقة عمل التهجين المنتظم هو كما يلي:

- قيمة بت القناع تساوي 1، إذن قيمة جين الوالد1 تنسخ لدى الطفل 1.

- قيمة بت القناع تساوي 0، إذا تنتقل قيمة الجين الأب 2 إلى الطفل 1. قيم جينات الطفل 2 تكون كما يلي: قيم جينات الوالد 1 عندما تكون القيمة بت القناع تساوي 0 وقيم جينات الوالد 2 عندما تكون قيمة بت القناع تساوي 1.

على الرغم من أن هذه التقنية تختلف عن التقنيتين الأخيرتين على المستوى التصوري، إلا أننا نلاحظ وجود تشابه بين هذه التقنيات. يمكن أن يكون التهجين المنتظم حالة عامة لكلتا التقنيتين.

تنطبق تقنيات التهجين الثلاثة هذه في كلتا الحالتين: التمثيل الثنائي والتمثيل الحقيقي.

4.1.8. التهجين الخطي:

يولد التهجين الخطي ثلاث ذريات:

$$H^K = (h^{k1}, h^{k2}, ..., h^{ki}, ..., h^{kL}) \qquad k = 1,2,3.$$

الصيغة 19

مثل:

$$h^{1i} = \frac{1}{2}(c^{1i} + c^{2i}) h^{2i} = -\frac{1}{2}c^{1i} + \frac{3}{2}c^{2i} = \frac{3}{2}c^{1i} + \frac{1}{2}c^{3i}$$

الصيغة 20

عند الاصطفاء، سيتكون الجيل الجديد من أفضل اثنين من هؤلاء الأطفال. نلاحظ أن مجال الاستكشاف محدود.[Wright, 1991]

5.1.8. التهجين المخفي (*Croisement discret*):

إن قيم جينات h_i للأطفال المولدين المعرفة بـ H تساوي قيم الجينات c^{1i} للوالد c^1 أو قيم الجينات c^{2i} للوالد c^2. يتم اختيار الوالد بطريقة عشوائية مع توزيع منتظم، حيث يكون مجال الاستكشاف محدود.

6.1.8. اختيار تقنية التهجين:

تختلف آراء المختصين فيما يتعلق باختيار تقنية التهجين عندما يكون تمثيل الكروموسوم ثنائيًا. البعض يفضل التهجين متعدد النقاط (المتعدد) والبعض الآخر يفضلون التهجين المنتظم. الاستنتاجات متنوعة تمامًا وبسبب طبيعة المسائل المختلفة التي تمت دراستها.[Michalewicz & Janikov, 1991]

من خلال مجموعة تقنيات التهجين المذكورة أعلاه، نجد أنه مهما كانت التقنية المستخدمة، فمن الضروري احترام المفهوم الأساسي للتهجين. هذا المفهوم هو تبديل قيم جينات الوالدين لتشكيل ذرية واستغلال مجال البحث في فضاء الحلول. لإجراء اختيار جيد لتقنية التهجين، يكفي إجراء العديد من التجارب بتقنيات مختلفة. لتحسين هذا البحث، ستتيح لنا تقنيات الاصطفاء القياسية (على سبيل المثال السحب الدوالبي المنحاز) وعامل التطافر الاقتراب بسرعة أكبر نحو الحلول.

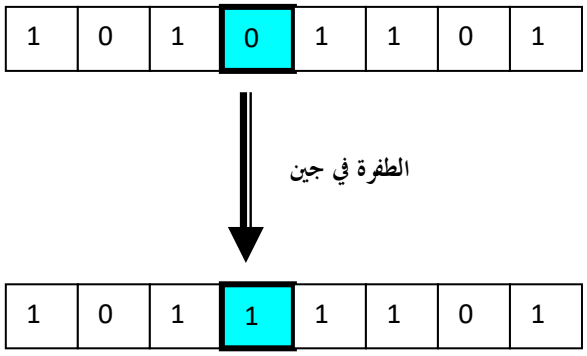
هناك بعض الملاحظات الخاصة بتقنية التهجين نوضحها في النقاط التالية:

- التهجين هو مفتاح قوة الخوارزميات الوراثية. يرتبط ارتباطًا مباشرًا بقدرة مجتمع من الأفراد على استغلال فضاء أبحاثهم والجمع بين أفضل النتائج مع بعضهم البعض. بفضل التهجين، تركز الخوارزميات الوراثية على الأجزاء الواعدة من فضاء الحلول لأن عامل التهجين هذا يجمع بين السلاسل التي تحتوي على حلول جزئية.
- عادة لا يتم تطبيق التهجين على جميع أزواج الأفراد المختارين عشوائيا أثناء التكاثر. احتمالية التهجين المطبق تكون ما بين 0.6 و1.0. في حالة عدم تطبيق التهجين، يكون الأطفال مشابهين للوالدين.[Goldberg, 1989]

- في الحالة الخاصة لكروموسوم على شكل مصفوفة المتكون من سلسلة أشعة، يمكننا تمديد مبدأ التهجين ليشمل الأشعة التي تشكل الجينات.

2.8. تقنيات التطافر (*Mutation*):

يتم تطبيق هذا العامل على كل كروموسوم ناتج عن عملية التهجين أو ينتمي الى مجتمع. يتمثل نشاط عامل الطفرة في تغيير أو تبديل قيم جينات الكروموسوم C باحتمالية معرفة بـ p_m. هذا الاحتمال للتطافر منخفضة جدا في التطبيق. (الشكل 6.4)



الشكل 6.4: الطفرة في جين

يسمح التطافر بالبحث عن حل للمشكلة في نطاق محدود للغاية. لذلك فإن فائدة هذا العامل هي استكشاف فضاء البحث عن الحلول. لا تؤدي هذه الطفرات عمومًا إلى إيجاد حلول أفضل للمشكلة، ولكنها تتجنب إنشاء مجموعات موحدة غير قادرة على التطور، مما يسمح للخوارزمية الوراثية بالاقتراب نحو حلول إجمالية. من خلال استكشاف فضاء البحث، تسمح الطفرة بالانتقال من الاستكشاف إلى الاستغلال وإيجاد مجموعة من الحلول.

تعتمد خصائص التقارب للخوارزميات الوراثية اعتمادًا كبيرًا على هذا العامل على المستوى النظري.[Fogel & al, 1966]

إلا أنه، تم تطوير العديد من تقنيات التطافر في الأدب، بعضها ينطبق على الجينات التي يكون تمثيلها ثنائيًا والبعض الآخر على الجينات من النوع الحقيقي.

لتحديد عدد المواضع التي يجب أن تخضع جيناتها للتغيير، يكفي معرفة حجم الكروموسوم L واحتمال حدوث طفرة p_m . يعرف هذا الرقم من خلال الجداء $L \times p_m$.

لنضع الصيغة التالية للكروموسوم الذي سيخضع للتطافر:

$$C = (c_1, c_2, \ldots, c_i, \ldots, c_l)$$

الصيغة 21

بحيث: $c_i[a_i, b_i]$ و يكون : $c_i \{1,2\}$

النتيجة المحصل عليها من قبل عامل الطفرة هي كروموسوم C' بحيث:

$$C' = (c_1^1, c_2', \ldots, c_i^i, \ldots c_L')$$

1.2.8. التطافر العشوائي:

في الحالة الثنائية، إذا كانت قيمة الجين المراد تحوره تساوي 1، فإنه يتم قلبه إلى 0 وإذا كانت قيمة الجين تساوي 0، فعندئذ يتم عكسه إلى 1. c_i يتم تعديله بواسطة الجين $c'i$. يتم اصطفاء هذه القيمة الجينية $c'i$ بشكل عشوائي من المجال $[a_i, b_i]$.

2.2.8. التطافر المنتظم:

طفرة موحدة حقيقية مشفرة مماثلة لتلك التي في التشفير الثنائي. وبالتالي، يتم تغيير كل متغير c_i وفقًا لاحتمال معين p_m إلى رقم عشوائي مرسوم في توزيع منتظم عبر المجال $[a_i, b_i]$.

3.2.8. التطافر غير المنتظم:

يتم تطبيق تقنية التطافر غير المنتظم وفقًا للجيل الحالي t والحد الأقصى لعدد الأجيال المذكورة $gen_\max$. يعرف الجين c_i' على النحو التالي:

الصيغة 22 $$c_i' = c_i + (t, b_i . c_i) \quad \text{إذا كان} \quad c_i = 0$$

الصيغة 23 $$c_i' = c_i (t, c_1 . a_i) \quad \text{إذا كان} \quad c_i = 1$$

الصيغة 24 $$(t - y) = y(1 - r^{(\frac{1-i}{gen_\max})})$$

r: عدد عشوائي من المجال [1,0].

b: ثابت مختار من طرف المستخدم يسمح بتحديد درجة الترابط بعدد التكرارات.

تنطبق هذه التقنية على الجينات التي يكون تمثيلها حقيقيًا.

9. معضلة الاستكشاف/الاستغلال:

في كل مرحلة من مراحل الخوارزمية، يجب إجراء التسوية بين استكشاف فضاء البحث، من أجل تجنب الركود في المستوى الأمثل المحلي، واستغلال أفضل الأفراد الذين تم الحصول عليهم، من أجل الوصول لأفضل القيم حولها. الاستغلال المفرط يؤدي إلى تقارب نحو المستوى الأمثل المحلي، بينما يؤدي الاستكشاف المفرط إلى عدم تقارب الخوارزمية.

عادة، عمليات الاصطفاء والتهجين هي خطوات استغلال، في حين أن التهيئة الابتدائية والطفرة هي خطوات استكشافية. يمكننا بالتالي ضبط نصيب كل منها من الاستكشاف والاستغلال من خلال اللعب على المعلمات المختلفة للخوارزمية (احتمالات تطبيق العوامل، ضغط الاصطفاء، ...إلخ). لسوء الحظ، لا توجد قواعد عالمية للإعدادات إلا النتائج التجريبية التي تعطي فكرة عن سلوك المكونات المختلفة للخوارزميات.

10. موازاة الخوارزميات الوراثية:

الفائدة من موازاة الخوارزميات الوراثية هي توفير وقت الحوسبة. [Betts & Huffman, 1991]

تعد الخوارزميات الوراثية خوارزميات مكلفة جدا من حيث وقت الحساب، ولكن من السهل أن نرى أن الخطوة الأكثر كلفة وهي تقييم أداء مجتمع بأكمله يتكون من حسابات مستقلة تمامًا بينها. حيث يبدو أنه من السهل موازاتها.

ومع ذلك، فإن الطريقة الطبيعية لتشغيل حسابات الأداء بالتوازي ليست الطريقة الوحيدة لتطبيق الموازاة في الخوارزميات الوراثية. حتى أن هناك مجموعة كاملة من الطرق لموازاة هذه الخوارزميات، من التوازي البسيط لحساب الأداء نفسه إلى التوزيع الكامل للمجتمع على مختلف المعالجات المتاحة.

من بين العناصر الرئيسية لاختيار طريقة الموازاة لحساب المكسب الذي يجلبه الرابطة تقييم/تطور، رابط بين متوسط الوقت لحساب الأداء ومتوسط الوقت اللازم للاصطفاء.

التوازي فعال للغاية في تسريع أوقات الحل للخوارزميات الوراثية. فبالتاكيد، يجب علينا دراسة المشكلة من أجل استخدام الآلية الصحيحة للتوازي، ولكن كسب الوقت مهم أيضا.

11. الخاتمة:

في هذا الفصل، حددنا المبادئ العامة والمراحل المختلفة لاستخدام أو استعمال الخوارزميات الوراثية. حيث أوضحنا التقنيات المختلفة المستخدمة في مرحلة التكاثر الوراثي مع الإصرار على الاصطفاء الذي يلعب دورًا مهمًا في استغلال فضاء تمثيل المرشحين.

يعتمد الاستخدام الناجح للخوارزميات الوراثية على الاختيار الأحسن لنوع التشفير وكذا جودة دالة التكيف. حيث تعتبر هذه الدالة أساس أي تقييم للحلول المحتملة، والتي بدورها تعتمد أساسا على المسألة المُراد حلها. وبالتالي فإن مرحلة التقييم هي الخطوة الأكثر أهمية في استخدام الخوارزميات الوراثية.

يسمح الاختيار الحكيم للمجتمع الابتدائي ومعايير التوقف للخوارزميات الوراثية بأن تكون ناجعة وأكثر كفاءة.

الفصل الخامس

تنفيذ النماذج الوراثية وتطبيقها

1. مقدمة:

يعد تطبيق الخوارزميات الوراثية للتعرّف الآلي على الكلام (RAP: *Reconnaissance automatique de la parole*)، كنموذج وراثي لتألية وتصنيف الأشعة الصوتية للسلاسل الصوتية، حديث جدًا في جميع أنحاء العالم. في كثير من الحالات، هي في المرحلة التجريبية. أصبح استخدام الخوارزميات الوراثية للتعرّف الآلي على الكلام معممًا فقط لتحسين النماذج الموجودة بالفعل. تم استخدام الخوارزميات الوراثية بنجاح لتحسين، على سبيل المثال، النماذج العصبية من أجل التعرف على الكلام مستمر.

لهذا، سنطبق الخوارزميات الوراثية للتعرف على المصوتات الشفوية للغة للعربية الفصحى.

نبدأ هذا الفصل بقولبة وراثية كاملة للمشكلة التي يتعين حلها مع الإصرار على اختيار دالة التكيف.

في هذا السياق، اقترحنا نموذجين وراثيين مختلفين. أعطى كل منهما نتائج مشجعة. حيث يكمن الاختلاف بين هذين النموذجين في اختيار طبيعة البيانات المرجعية، الخاصة بدالة التكيف وفي نمط تنفيذ الخوارزميات الوراثية.

ننهي هذا الفصل بتفسير وباستقراء صوتي للنتائج التي تم الحصول عليها.

2. التصنيف الوراثي:

الهدف من النمذجة الوراثية هو التجميع على النحو الأمثل للأجزاء الصوتية والتي تكون عبارة عن أشعة أو مجموعات من الأشعة الصوتية وتوزيعها في فئات معينة. تسمى عملية توزيع الأجزاء الصوتية على الفئات بعملية الترتيب، في حين أن عملية العثور على الترتيب الأفضل تسمى التصنيف.

يتم استخدام المصفوفة (الاشعة الصوتية للسلاسل الصوتية×الاشعة الصوتية المرجعية للكيانات التي سيتم التعرف عليها) بواسطة دالة التكيف، المعرفة أدناه.

في هذا المستوى، لا نتحدث عن وحدات صوتية، ولكن فقط مجموعتين من الأشعة الصوتية من نفس الحجم.

لربط الكيانات المراد التعرف عليها مع الفئات، يكفي العثور على تناسب أو مطابقة تحليلية بين مجموعتي الاشعة الصوتية على التوالي السلاسل الصوتية والكيانات المرجعية المراد التعرف عليها. الفئة عبارة عن مجموعة من الأشعة الصوتية غير المتباعدة، بمعنى مقياس التقارب الذي توفره دالة التكيف.

بما أن أشعة المجتمع الابتدائي تمثل مساحة البحث عن الحلول المحتملة للمشكلة، فإن الخوارزميات الوراثية ستضطلع بمهمة تنفيذ عدد كبير من التعديلات على هذه الأشعة الأولية، وإعادة التنظيم والتطافر(التحور)، في محاولة لإنتاج أفضل (بمعنى دالة التكيف) شعاع لحل محتمل (أو أفضل الأشعة الرئيسية). الأشعة التي تنتجها الخوارزميات الوراثية هي محاولات لترتيب النماذج، أي محاولات إسناد كل شعاع أو مجموعة أشعة صوتية والتي تمثل نفس الصُويتة لفئة واحدة. لهذا السبب نسميهم المصنفات.

يتم بناء أفراد المجتمع الابتدائي من المصنفات بشكل عشوائي تماما. عند التهيئة الاولية للخوارزميات الوراثية، يتم اختيار عدد كبير من الفئات بشكل تحكمي قسري: استخدمنا كرقم أولي للفئات، الذي يرمز له بـ N، العدد n من الصويتات الأبجدية، وذلك لمنح العملية إمكانية بناء جميع الفئات الممكنة. هناك دائمًا N فئة محتملة، لكن عددًا معينًا منها فقط، والذي نتمناه بأكبر قدر ممكن، يبقى فارغًا. هنا تكمن أهمية دالة التكيف في تقليل عدد الفئات الفعالة إلى قيمة مثلى خلال دورات الخوارزميات الوراثية. يثبت عدد تكرارات الخوارزميات الوراثية بشكل تحكمي في قيمة كبيرة، من أجل ألف تكرار للجيل.

3. المجتمع الابتدائي من المصنفين:

يتطلب تقديم مفهوم أفراد المجتمع المصنفون، وخصوصًا المجتمع الابتدائي من المصنفين في سياق التعرف على الكلام، المرور على التعريف المسبق للمجموعتين التاليتين:

- تعطى المجموعة T من مقاطع (أجزاء) الكلام n، بواسطة الصيغة التالية: [الصيغة 1]

$$T = \{S_1,\ldots,S_j,\ldots,S_n\}$$ **الصيغة 1**

هي مجموعة المصنفات أو مجتمع المصنفين، n. المصنف أو الصبغي (كروموسوم)، وفقا للنظم الوراثية، هو شعاع ذو بعد 10 (جزء من الوصلة الصوتية) أين يحتوي الموقع رقم i على معامل a_{ij} من الجزء رقم j.

تحتوي المجموعة T على عدد ثابت n من المصنفات الثابتة عند تهيئة الخوارزمية. يتم تمثيل كل قطعة او جزء j ممثل بواسطة شعاع مكون من 10 معاملات ترقب مقدمة من الصيغة التالية: [الصيغة 2]

$$S_j = \left(a_{1j},\ldots, a_{ij},\ldots, a_{10j}\right)$$ **الصيغة 2**

- المجموعة K من N مُصوت. ليكن $K = \{C_1,\ldots,C_k,\ldots,C_N\}$، N يمثل الحد الأقصى لعدد المصوتات الممكنة. أحد آثار البحث الجيني هو توزيع الأجزاء بين عدد صغير من هذه الفئات، وترك الفئات الأخرى فارغة من أجل تصنيف جميع المصوتات الموجودة في الوصلة الصوتية. في اللغة العربية الفصحى، هناك ست مصوتات، كل منها يمثل فئة.

4. اختيار البيانات الصوتية المرجعية:

يعد اختيار النوع وموثوقية المؤشرات والثوابت الصوتية المفيدة للمصوتات أمرًا مهمًا للغاية. هذه الأخيرة، في شكل أشعة صوتية، تشكل مجموعة من البيانات المرجعية للخوارزميات الوراثية. تشير الخوارزميات الوراثية إلى هذه المجموعة، خلال مرحلة تقييم الحلول المحتملة للمشكلة.

1.4. مجموعة البيانات المرجعية للنموذج الأول:

بالنسبة للنموذج الجيني الأول، قمنا بتمثيل كل مُصوت بواسطة شعاع من الصيغ الثلاثة الأولى مثل: (الصيغة 3)

الصيغة 3

$$C_k = (F_{k1}, F_{k2}, F_{k3})$$

تستقى القيمة المتوسطة المرجعية لكل من البواني الصوتية الثلاثة الأولى للمصوتات الستة، بشكل تجريبي باستخدام المقياس الصوتي *Kay 5500*. (الجدول 1.5)

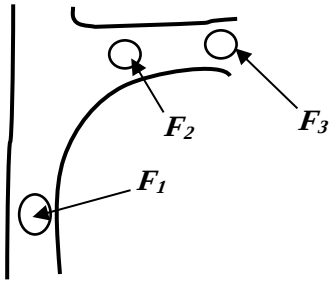
المصوتات	F_{k1} (Hz)	F_{k2} (Hz)	F_{k3} (Hz)
[a]	600	1520	2580
[i]	280	2360	2780
[u]	300	760	2320
[a:]	560	1502	2520
[i:]	260	2360	2760
[u:]	320	660	2340

الجدول 1.5: القيم المتوسطة المكونات الثلاثة المميزة لمصوتات اللغة العربية الفصحى

نذكر أن، البواني هي الحد الأقصى لمنحنى الاستجابة بالتردد للمسالك الصوتية. كل صوت له بواني المميزة. تتيح لنا البواني الوصف الدقيق للأهداف الصوتية التي تتوافق مع المناطق المستقرة، وكذلك المناطق الانتقالية (المرور بين صوتين متتاليين). وهذا يوضح أهميتهم البالغة للتحليل الصوتي.

يلزم وجود ثلاثة بواني على الأقل لإنتاج المصوتات المختلفة أو التعرف عليها. تتأثر قيم البواني بقوة من مخرج الحرف (مكان التلفظ). تعطي هذه الاخيرة صورة التكوين المفصلي للمسلك الصوتي لأنها تتوافق مع ترددات الرنين في القناة الصوتية. بالطريقة نفسها، أظهرت التجارب أن الموضع الترددي لهذه البواني الأولى يميز الجرس او النغمة الصوتية: (الشكل 1.5)

- F_1 ينشأ في التجويف الرنان بين الحنجرة ومؤخرة اللسان.
- F_2 ينشأ في التجويف الرنان بين الجزء الخلفي من اللسان والشفتين.
- F_3 يعتمد على تقريب الشفاه.



الشكل 1.5 : البواني الصوتية

2.4. مجموعة البيانات المرجعية للنموذج الثاني:

بالنسبة للنموذج الجيني الثاني، يتم تمثيل كل مُصوت بشعاع ترقبي قصير (LPC) المدى (10 ميلي ثانية) بترميز V_k كما يلي: (الصيغة 4)

الصيغة 4

$$V_k = (b_{k1},\ldots, b_{kh})$$

يتكون هذا الشعاع من معاملات الترقب الخطي b_{kh} . يتم الحصول على هذه الاخيرة عن طريق حل معادلات يول والكر Yule-Walker بواسطة طريقة الارتباط الآلي.

يتم الحصول على هذه الاشعة الصوتية، والتي هي عبارة عن صور مرجعية، خلال مرحلة التعلم.

يتم تمثيل كل من المصوتات الستة بواسطة شعاع صوتي مرجعي بترتيب معين.
(الجدول 2.5)

المصوتات	C_i	ترتيب الأشعة
[a]	$(b_{11},\ldots,b_{1m})$	m
[u]	$(b_{21},\ldots, b_{2w})$	w
[i]	$(b_{31},\ldots,b_{3q})$	q
[a:]	$(b_{41},\ldots, b_{4z})$	z
[u:]	$(b_{51},\ldots,b_{5x})$	x
[i:]	$(b_{61},\ldots,b_{6y})$	y

الجدول 2.5: الأشعة المرجعية الصوتية لمصوتات اللغة العربية الفصحى

5. النمذجة الوراثية:

تعمل الخوارزميات الوراثية على البحث، في مختلف الأجزاء الصوتية لسلسلة صوتية، عن هياكل متوافقة مع تلك الاشعة المرجعية الممثلة لكل فئة. يتم البحث عن هذه التوافق على مستوى مرحلة التقييم، بطريقة رياضية. [Aissiou & Guerti, 2003a]

لبناء النموذجين الوراثيين، اتبعنا الخطوتين الرئيسيتين التاليتين:

1. إنشاء المجتمع الابتدائي.
2. تعريف دالة التكيف.

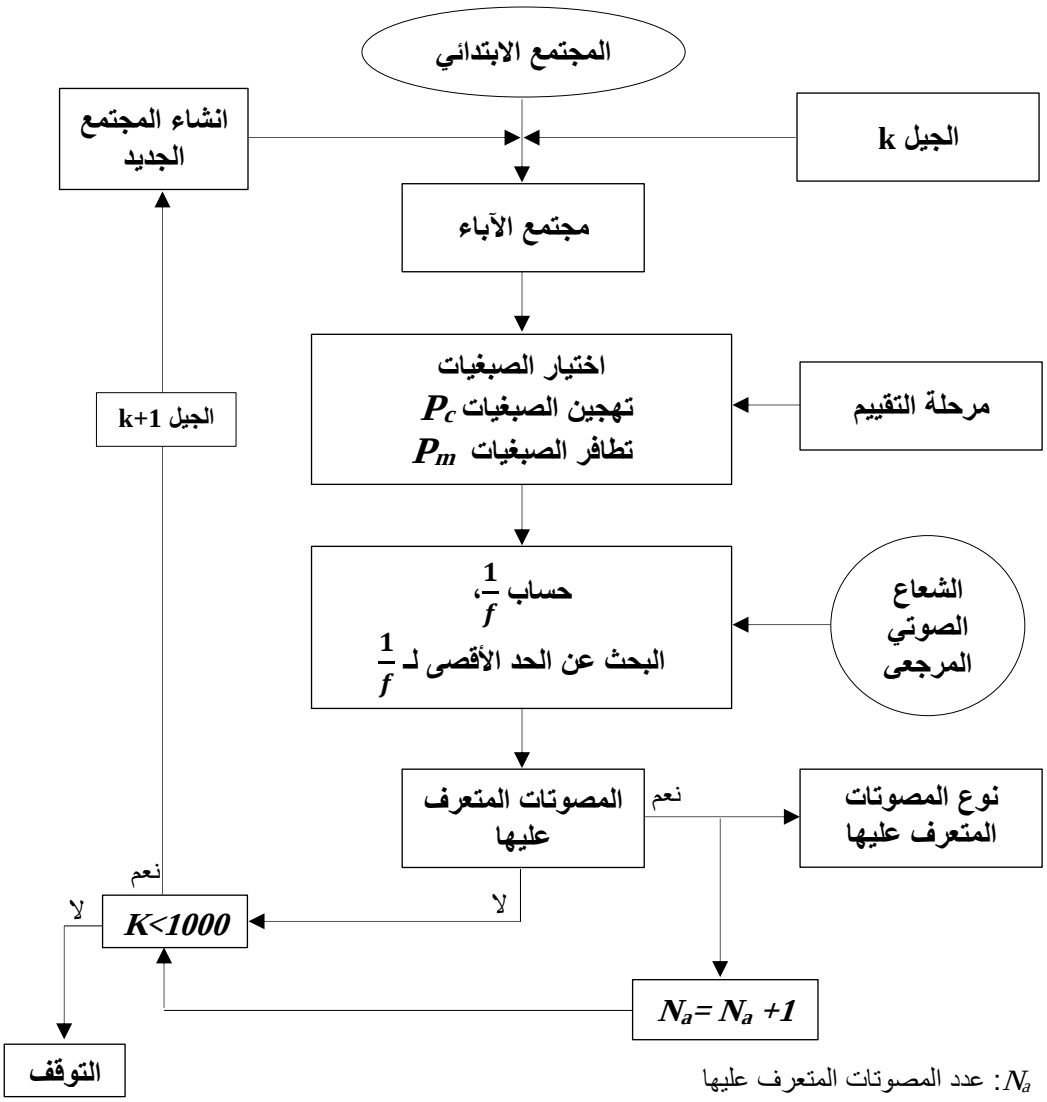
1.5. إنشاء المجتمع الابتدائي:

إنشاء المجتمع لتهيئة الخوارزميات الوراثية يمر حتما من خلال تعريف الفرد من المجتمع.

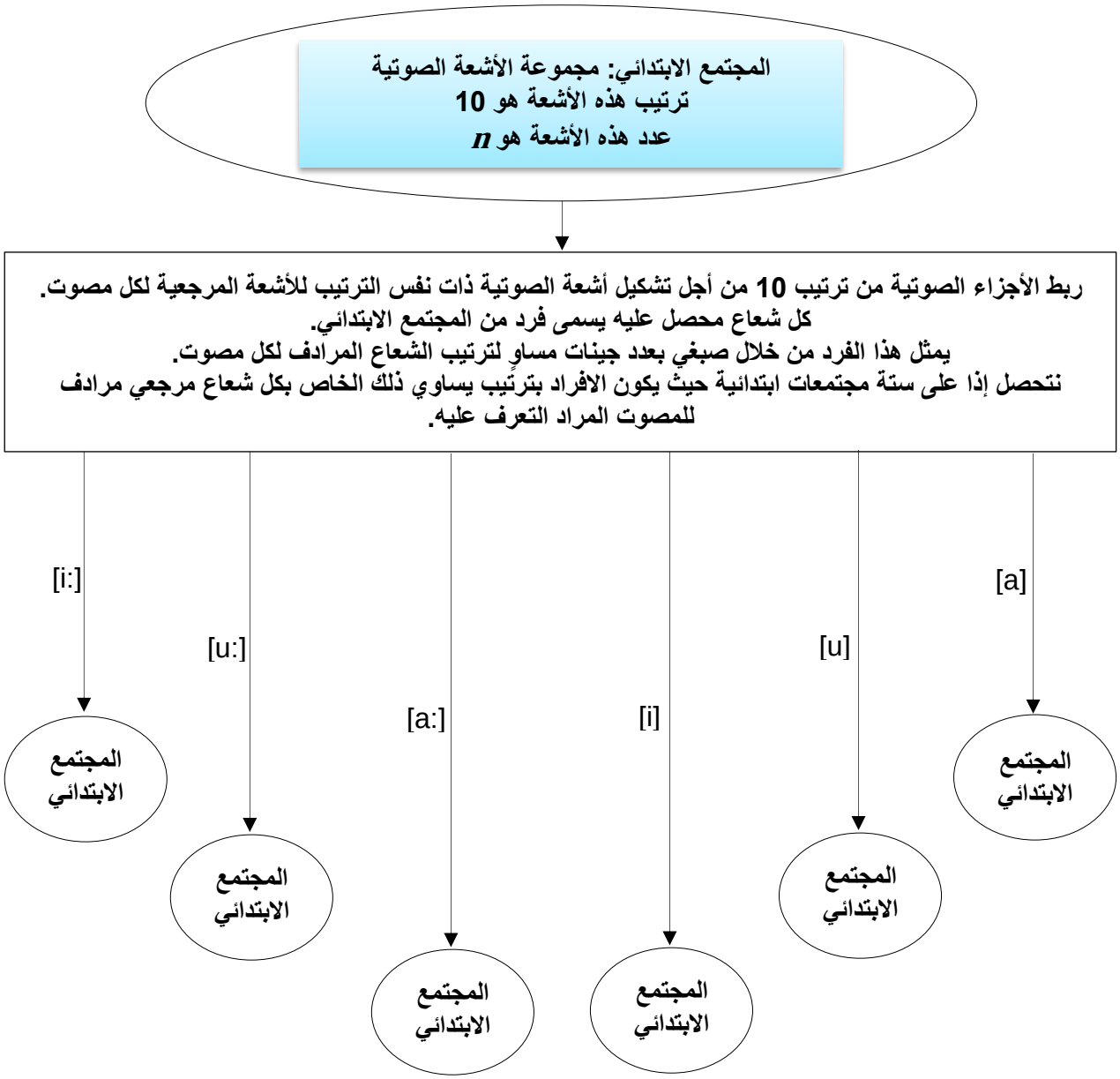
الفرد المختار بالنسبة للنموذج الأول هو صبغي بجينات تحتوي على معاملات a_{ij} مكون من عدة أجزاء S_j من الوصلة الصوتية للمدونة المختارة. لقد حددنا تجريبيا عدد القطع المتسلسلة المترابطة بـ 10. إذن لدينا صبغي يحتوي على 100 جين. يتيح ربط عشرة مقاطع صوتية تقليل عدد الأفراد في المجتمع الابتدائي بمقدار عشرة، مما يقلل بشكل كبير من عدد دورات تشغيل الخوارزميات الوراثية.

يتكون المجتمع الابتدائي للنموذج الجيني الاول من عدد يساوي "$\frac{n}{10}$" من الأفراد أو الصبغيات. (الشكل 2.5)

بالنسبة للنموذج الثاني، يتم اختيار الفرد نسبيا إلى المُصوت المُراد في الوصلة الصوتية للتعرف عل هذا الاخير. عند بدء تشغيل الخوارزمية الوراثية للتعرف على المصوت [a]، يُعرف الفرد على أنه الصبغي الذي يحتوي على المعاملات a_{ij} من عدة أجزاء متتالية حيث يساوي حجمها ترتيب الشعاع المرجعي C_i. (الشكل 3.5)



الشكل 2.5: الهيكل التنظيمي للنموذج الجيني



الشكل 3.5: تشكيل المجتمعات الابتدائية الستة للنموذج الجيني

2.5. دالة التكيف:

يجب أن تكون دالة التكيف تمييزية قدر الإمكان. هذه الصفة التمييزية تتعلق بجانبين متكاملين:

- التماسك الداخلي للترتيب وهو درجة تقارب الاجزاء داخل كل فئة.
- تمايز الترتيب المرادف لاختلاف الفئات بينها.

1.2.5. اختيار قياس الاختلاف:

في أي مقاربة للتعرف، يرتبط اختيار مساحة تمثيل الإشارة ارتباطًا وثيقًا باختيار المسافة المحددة في هذا الفضاء.

تستخدم المسافات الطيفية لمقارنة أشعة الثوابت.

في الفضاء المتري، ينبغي أن تفي المسافة بين الشعاعين المرمز لهما بـ X وY الصيغة 5. (الصيغة 5)

الصيغة 5

$$\begin{cases} d(x,y) \geq 0 \\ d(x,y) = d(y,x) \\ d(x,u) \leq d(x,u) + d(u,y) \end{cases}$$

u : شعاع

ومع ذلك، لا تُحترم هذه الشروط دائمًا من قبل المسافات المستخدمة في معالجة الكلام. لذلك، فمن الأصح التحدث عن مقياس التشويه أو مقياس الاختلاف. ترتبط هذه المسافات أو الابعاد ارتباطًا وثيقًا بطبيعة الثوابت المحتفظ بها.[Koza & at, 1994]

يقدم مؤشر *Minkowski* مقياس عام للمسافة في الفضاء المتري. ويشمل ذلك، بشكل عام، الحالة الخاصة للمقاييس الإقليدية. يعرف المؤشر على النحو التالي: (الصيغة 6)

الصيغة 6

$$d(i,j) = \left(\sum_{k=1}^{K} w \left(X_{ik} - X_{jk} \right)^{\upsilon} \right)^{\frac{1}{\mu}}$$

من أجل $\upsilon = \mu = 2$ وإذا كانت القوى تساوي 1، فإن هذا المقياس يعطي القياس على الطريقة الإقليدية التقليدية التي تستخدم على نطاق واسع للبيانات الكمية.

في المساحة المحددة بواسطة المتغيرات j، فإن المسافة الإقليدية بين الفردين i وi' هي: (الصيغة 7)

$$d^2(i,i') = \sum_j \left(X_{ij} - X_{I'j}\right)^2$$

الصيغة 7

2.2.5. تعريف دالة التكيف للنموذج الأول:

دالة التكيف F_k المقترحة تساوي المسافة الإقليدية بين أشعة الترقب للمقاطع الصوتية والأشعة البنيوية للفئة رقم k للمُصوتات: [الصيغة 8]

$$F_k = \sqrt{\left(a_{ij} - F_{k1}\right)^2 + \left(a_{ij} - F_{k2}\right)^2 + \left(a_{ij} - F_{k3}\right)^2}$$

$$k = 1,\ldots,6 \; ; \; i = 1,\ldots,10 \; ; \; j = 1,\ldots,n .$$

الصيغة 8

للحصول على القيم الدقيقة للبواني الثلاثة لكل مُصوت، يجب صياغة دالة التكيف على هذا النحو. هذه الصيغة تمكن من تحقيق نسب أفضل للتعرف على المصوتات.

3.2.5. تعريف دالة التكيف للنموذج الثاني:

يمكن تمثيل دالة التكيف بطريقة أكثر صرامة من خلال المسافة الإقليدية بين أشعة الترقب للمقاطع الصوتية والشعاع المرجعي القصير المدى للترقب لكل فئة مُصوت. [Cristianini & Taylor, 2000] (الصيغة 9)

$$F_k = \sqrt{\sum_{h=1}^{m} \left(a_{ij} - b_{kh}\right)^2}$$

الصيغة 8

b_{kh} : معاملات الترقب للأشعة قصيرة المدى للصورة المرجعية للمصوت من الفئة رقم k.

4.2.5. تقييم دالة التكيف:

لتقييم الحلول المحتملة لمشكلتنا، يجب تقليل دالة التكيف هذه إلى أقصى حد ممكن من أجل تحديد نوع فئات العضوية للمقاطع الصوتية أو مجموعات هذه المقاطع. [Gilleron & Tommasi, 2000]

لذلك، يكفي زيادة الدالة العكسية إلى الحد الأقصى، أي البحث عن الحدود القصوى للدالة العكسية المُرمز لها بـ F_a: (الصيغة 10)

الصيغة 9

$$F_a = 1/F$$

البحث عن هذه الحالات القصوى المتطرفة يمكن أن يعطي نوعين من النتائج:

- الحصول على حد أقصى يعني وجود المصوت المنشود الذي تم تحديد فئته جيدًا. في هذه الحالة، نواصل البحث عن نفس المُصوت لبقية الوصلة الصوتية.
- نهاية الوصلة الصوتية التي تعني أنه لا يوجد مُصوت من الفئة k في هذه الوصلة الصوتية. في هذه الحالة، نكرر العمل المنجز بالفعل للأنواع الأخرى من المُصوتات. [Aissiou & Guerti, 2003b]

6. النتائج والاستقراءات (التفسيرات):

ركزت التجربة على مدونة متكونة من عديد الجمل من الكلام المستمر للغة العربية الفصحى، المسجلة لمتحدث واحد في بيئة قليلة الضجيج:

- إِن الأَشجَارَ الكَبِيرَة مَوجُودَة فِي الغَابَة الصَغِيرَة.
- ورُودُ البُستَان فِي البُيوت والقُصُور.
- الرَجُلاَن نَحِيلاَن كَئِيبَان.
- وعُودُ اللَئيم كَاذِبَة.
- سُدُودٌ كَبِيرَة.

عند التهيئة الابتدائية للخوارزمية يكون عدد الفئات هو 6. احتمال التهجين P_c يثبت عند 0.8، أما احتمال التطافر P_m فيثبت عند 0.05. أما عدد الأجيال (أو التكرارات) للخوارزمية فقد كان 900 بالنسبة لكلا النموذجين.

اخترنا لكلا النموذجين:
- ترميز حقيقي.
- تقنية تهجين متعدد النقاط.
- تقنية الطفرة الموحدة.
- تقنية الاصطفاء عن طريق عجلة الحظ.

1.6. النتائج:

لقد تم تحقيق نتائج جد مشجعة. حيث لاحظنا أن هذه النتائج تختلف من نموذج إلى آخر.

1.1.6. نتائج النموذج الجيني الأول:

المصوتات	نسبة التعرف (%)
[a]	57.14
[u]	50.00
[i]	66.66
[a:]	73.33
[u:]	62.50
[i:]	64.44

الجدول 3.5 : نسبة التعرف على المصوتات الشفوية للغة العربية الفصحى بواسطة النموذج الوراثي الأول

عدد الأجيال (التكرارات)	نسبة المصوتات المتعرف عليها(%)
100	4.1
200	11.4
300	29.8
400	38.6
500	53.6
600	63.7
700	66.9
800	68.4
900	68.68

الجدول 4.5: تطور نسبة التعرف على المصوتات بواسطة النموذج الاول عبر الأجيال

احتمال التهجين	نسبة المصوتات المتعرف عليها(%)
0.80	68.68
0.75	65.40
0.70	64.33
0.65	66.98
0.60	67.93
0.59	60.71
0.58	55.69
0.575	51.33
0.574	51.02

الجدول 5.5: تأثير قيمة احتمال التهجين على نسبة التعرف على المصوتات بواسطة النموذج الأول.

2.1.6.نتائج النموذج الجيني الثاني:

المصوتات	نسبة التعرف (%)
[a]	57.14
[u]	66.66
[i]	66.66
[a:]	80.00
[u:]	62.50
[i:]	77.77

الجدول 6.5: نسبة التعرف على المصوتات الشفوية للغة العربية الفصحى بواسطة النموذج الوراثي الثاني

عدد الأجيال (التكرارات)	نسبة المصوتات المتعرف عليها(%)
100	27.10
200	64.44
300	77.12
400	80.00
500	80.01
600	80.02
700	80.025
800	80.03
900	80.03

الجدول 7.5: تطور نسبة التعرف على المصوت[:a] بواسطة النموذج الثاني عبر الأجيال

احتمال التهجين	نسبة المصوتات المتعرف عليها(%)
0.80	78.20
0.75	80.00
0.70	76.53
0.65	64.15
0.60	61.85
0.59	54.21
0.58	52.00
0.575	51.05
0.574	50.85

الجدول 8.5: تأثير قيمة احتمال التهجين على نسبة التعرف على المصوت[:a] بواسطة النموذج الثاني

2.6. التعليقات:

يوضح تحليل النتائج أن النموذجين الجينيين يسجلان أداءً مثيراً للاهتمام.

من هذه النتائج، نلاحظ أن:

- معدل التعرف على مصوتات اللغة العربية الفصحى للمدونة يختلف من نموذج إلى آخر. هذا المعدل هو 68.68 ٪ للنموذج الأول و80.00 ٪ للنموذج الثاني. وهذا يؤدي إلى استنتاج مفاده أن اختيار وظيفة التكيف وكذلك اختيار الأشعة المرجعية يؤثر على أداء الخوارزميات الوراثية. معدلات التعرف المتحصل عليها من نفس النموذج الجيني تختلف من مُصوت إلى آخر. هذا يؤدي إلى استنتاج مفاده أن القيود المستقلة عن هذا النموذج، تؤثر على أدائه. اختيار قيم بواني المُصوتات وآثار التداخل اللفظي.
- معدل التعرف على المُصوتات الطويلة أكبر من تلك التي في المُصوتات القصيرة. تتأثر البواني الأولى للمُصوت [i] بشدة بالأحرف الساكنة المجاورة. بالإضافة إلى ذلك، يُنصح بإدخال معلمة المدة كمعلمة مرجعية، بحيث يمكن أن تكون الخوارزمية الوراثية أكثر دقة في اتخاذ القرار. [Vintsjuk, 1968]
- يتأثر معدل التعرف بالقيم الخاصة باحتمالية التهجين وقيمة الطفرة. يصبح هذا التأثير أكثر أهمية في كل مرة تنخفض فيها قيمة احتمال التهجين. يقتصر البحث عن الحلول على جزء من مساحة البحث الحقيقية، عندما يتم اختيار قيمة احتمال التهجين بشكل سيء. [Junqua, 1990]
- معدل التعرف على المُصوت [a:] هو الأهم مقارنةً بمعدلات المُصوتات الأخرى. يمكن تفسير ذلك من خلال حقيقة أن البانيين الأولين للمُصوت [a:] أقل تأثراً في المنطقة المجاورة للصوامت البلعومية والحنجرة.
- عدد دورات النموذج الثاني أقل بكثير من النموذج الاول. وهذا راجع الى موازاة عملية البحث عن الحلول في النموذج الثاني.

يمكننا القول أنه لتحسين أداء هذين النموذجين، يصبح من الضروري زيادة عدد الثوابت الملائمة (الطاقة، الانتقالات البنيوية، المدة الزمنية ...الخ) الممثلة لقطع الإشارة الصوتية. في الواقع، في حاشية الحروف الساكنة المفخمة تصبح جميع المصوتات مفخمة. هذا التفخيم يُفَسر بتكثف طاقات هذه المُصوتات.[Aissiou & Guerti, 2003c]

7. الخاتمة:

في هذا الفصل قمنا بتطبيق الخوارزميات الوراثية من أجل التعرف على مصوتات اللغة العربية الفصحى من خلال تطبيق نموذجين وراثيين ثوابتيين. يقوم هذين الأخيرين بالاستكشاف الصوتي لأشعة الثوابت الملائمة التي تميز المُصوتات الموجودة في الوصلة الصوتية المرجعية بطريقة ناجعة.

لاحظنا أن اختيار دالة التكيف سمح لنا بالوصول إلى نتائج جيدة في عملية الاستكشاف، وهذا أمر بالغ الأهمية لضمان الأداء الجيد للخوارزميات الوراثية. بالإضافة إلى ذلك، فمن الضروري التأكد من عدد ونوعية الثوابت المرجعية الملائمة والتي يكون تأثيرها كبيرا على موثوقية النتائج، بحيث أن اختيار الثوابت الصوتية كان موفقا وحكيما وأكثر تكيفا في عملية استكشاف المُصوتات.

শ্রীঃ শ্রীঃ

الخاتمة:

هذه الدراسة جزء من الإطار العام للتعرف الالي على الكلام المستمر (RAP: *Reconnaissance automatique de la parole*). الغرض الرئيسي منه هو تحقيق نموذج استكشاف صوتي يسمح بإجراء التعرف الالي على الكلام على أي نوع من الإشارة. لأنه في التعرف الالي على الكلام، تبرز مشكلة ضرورة تكييف النماذج الصوتية مع بيئات جديدة.

لهذا، استخدمنا تقنية الخوارزميات الوراثية للتعرف الالي على الأشعة الصورية الصوتية للكيانات الصغرى للتعرف من خلال اقتراح نوعين من النماذج الوراثية.

للحصول على الاشعة الصوتية للكلام، اتبعنا عدة خطوات:

- لقد حددنا الخصائص الصوتية المفصلية للكيانات المراد التعرف عليها وهي مصوتات اللغة العربية الفصحى. حيث سمح لنا ذلك بقياس مدى تعقيد الإشارة الصوتية بسبب هذه الخصائص الجوهرية. اين تكمن الصعوبة الكبيرة التي واجهتها أثناء المعالجة.
- قدمنا الخطوات والمقاربات المختلفة للتعرف على الصوت والدور الهام الذي يمكن أن يلعبه فك الشفرة الصوتية (DAP: *Décodage Acoustico-Phonétique*) في نظام تحليلي للتعرف الالي على الكلام. بالإضافة إلى ذلك، فان اختيار النموذج الالي يؤثر بشكل كبير على أداء أي نظام للتعرف.
- أجرينا تحليلًا صوتيًا للإشارة الصوتية بواسطة الترميز التنبئي الخطي (LPC: *Linear Predicting Coding*) عن طريق إجراء نمذجة تلقائية (AR: *Auto-Regressive modeling*). حيث يتم بعدها استخلاص المعلمات الملائمة في شكل أشعة صوتية تسمى اشعة قصيرة المدى (10 ميلي ثانية).

تم إجراء دراسة كاملة عن الخوارزميات الوراثية من أجل فهم أدائها وضمان أفضل تطبيق لها للتعرف الالي على مصوتات اللغة العربية الفصحى.

كانت الخطوة الأكثر صعوبة في هذا العمل هي إنشاء نموذج جيني قادر على تأليف الاشعة الصوتية للسلاسل الصوتية. بمعنى آخر، كان من الضروري إيجاد أفضل طريقة لتطبيق الخوارزميات الوراثية اثناء التعرف على اللغة العربية الفصحى.

كان من الضروري معرفة كيف وعلى أي مستوى تتدخل النمذجة الوراثية لمشكلة التعرف في أداء الخوارزميات الوراثية.

يختلف النموذجان الوراثيان المقترحان عن بعضهما البعض في نوع دالة التكيف، وترتيب الأفراد في المجتمع الابتدائي، والمعلمات الملائمة للمراجع المختارة.

تقوم دالة التكيف بتقييم الحلول المرشحة لهذه المسألة. فالقولبة أو النمذجة الجيدة لهذه الأخيرة بالنسبة للمشكلة يمكن من الحصول على نتائج جيدة.

أعطى كلا النموذجين نتائج مشجعة. إن تحسين هذه النماذج الوراثية ضروري حتى تكون أكثر كفاءة.

لتحسين أداء الخوارزميات الوراثية، يمكن استخدام تقنيات التهجين والتطافر والاصطفاء. يمكننا أيضًا تغيير احتمالات هذه التقنيات لاستكشاف واستغلال أفضل لحلول فضاء البحث.

اختيار وجودة المعلمات الملائمة المرجعية، وكذلك اختيار المعلمات الصوتية التي ستشكل جينات أفراد المجتمع الابتدائي للخوارزمية الوراثية، يؤثر بشكل كبير على معدلات التعرف وبالتالي على أداء الخوارزمية الوراثية. لذلك، لا بد من وجود قاعدة بيانات موثوقة من المعلمات المرجعية. كما انه من الضروري اختيار أساليب تحليل حكيمة لاستخراج المعلمات المفيدة.

مستقبلا، سيتعين فحص عدد ونوعية المعلمات الملائمة للأشعة الصوتية التي ستشكل أفراد الخوارزميات الوراثية. وفي هذه الحالة لابد من الاهتمام بالمعاملات الطيفية أو الرأسية (MFCC: *Mel Scale Frequency Cepstral Coefficients*) ومشتقاتها الأولى والثانية، الطاقة، ومشتقها الأول والثاني، ومعدل المرور الصفري (*zerocrossing*). حيث تسمح لنا بالحصول على أشعة صوتية ذات حجم أكبر، والتي بدورها تسمح بضمان تمييز أفضل وبالتالي الحصول على نتائج أفضل.

ومن هنا لابد من الإشارة الى انه توجد عدة طرق أخرى تستعمل في مجال تحليل الاشارة الصوتية، على غرار تقنية MFCC، تمكننا من استخراج المعلمات المفيدة بصورة مغايرة بالنسبة للتقنية المستعملة في دراستنا هذه، لكنها لا تعطي بالضرورة نتائج أحسن، وعليه فان المشكل الأساسي يكمن في إيجاد الطريقة المثلى وهذا اعتمادا على النتائج المحصل عليها.

كما يرجع اختيار تقنية التحليل أيضا الى مجموعة من العناصر الأخرى، ولعل من بينها مجموعة أفراد المجتمع الاولي، وهذا ما نصبوا إليه، حيث أننا نسعى لتوسيع المدونة الصوتية المراد استكشافها آليا لتشمل أيضا بالإضافة الى المُصوتات، بقية الحروف الصامتة الأخرى الخاصة باللغة العربية الفصحى، وهذا كله يكون عنوان موضوع بحث لنيل شهادة الدكتوراه إن شاء الله تعالى.

قائمة المراجع

[أنيس إبراهيم، 1999] أنيس ابراهيم، الأصوات اللغوية، المكتبة الأنجلو المصرية، ص26-22، 1999.

[إدريس جوهر، 2014] إدريس جوهر نصر الدين، علم الاصوات لدارسي اللغة العربية من الاندونيسيين، 2014.

[الزجاجي، 1986] الزجاجي، الايضاح في علل النحو، تحقيق مازن المبارك، دار النفائس، بيروت، 1986.

[الفوزان، 2007] د. عبد الرحمن بن إبراهيم الفوزان، دروس في النظام الصوتي للغة العربية، ص 9، 2007.

[الخولي، 1982] الخولي، محمد علي، معجم علم اللغة النظري، مكتبة لبنان، ط1، 1982م، ص3،23،26، 215.

[بشر، 2000] كمال محمد بشر، علم اللغة العام الأصوات، 2000.

[جحافي سفيان، 2016] جحافي سفيان، التنوعات الدلالية للصوائت العربية في المستويات اللغوية، 2016.

[حاج صالح، 1986] د. عبد الرحمن الحاج صالح، تكنولوجيا اللغة والتراث اللغوي العربي الاصيل، الاسس العلمية لتطوير تدريس اللغة العربية، 1986.

[مجدي ابراهيم، 2001] مجدي ابراهيم، في اصوات العربية، ص19، 2001.

[لوشن، 2006] لوشن نور الهدى، مباحث في علم اللغة ومناهج البحث اللغوي، 2006.

[Al Ani, 1970] *S. h. Al Ani " Arabic Phonology an acoustical and physiological investigation", Edition Mouton, 1970.*

[Aissiou & Guerti, 2003a] M.Aissiou, M.Guerti, *"Application des Algorithmes Génétiques en vue de la Reconnaissance des voyelles de l'Arabe Standard", A.J.O.T. , International Publication, Série A, Vol. 16, N°1, apparition 09.2003. & N. Cristianini, J. Shawe-Taylor. "Support Vector Machines".Cambridge Univertsity, Press, 2000.*

[Aissiou & Guerti, 2003b] M.Aissiou, M.Guerti , *"Modélisation Génétique des Voyelles Brèves en vue de la Reconnaissance de l'Arabe Standard", S.P.I.R 03, Conférence, Signal, Imagerie, Parole et Rayonnement, 14-15/12/2003. USTHB. Alger, Algérie, (Soumis).*

[Aissiou & Guerti, 2003c] M.Aissiou, M.Guerti , *"Détection Automatique des Voyelles Courtes Emphatisées de l'Arabe Standard", A.J.O.T. , International Publication, Série A, Vol. 16, N°1, apparition 09.2003.*

[Amrouche, 1995] A. Amrouche, *"Contribution à la synthèse de la parole en Arabe Standard, modèle de Prédiction des phonèmes". Thèse de magistère. USTHB. Algérie, Mai 1995.*

[Bellanger, 1990] M.Bellanger, *"Traitement numérique du signal, Paris, Collection technique et scientifique des télécommunications", Edition.Masson, 1990.*

[Bonnot, 1979] *J.F. Bonnot " Etude expérimentale de certains aspects de la gémination et de l'emphase en Arabe" Actes du 9e ICPS Copenhague, Vol.1, 1979.*

[Boite & al, 1987] R.Boite, M. Kunt , *" Traitement de la parole", Lausanne, Presses Polytechniques Romandes, 1987.*

[Bridges & Goldberg, 1991] C.L. Bridges, D.E. Goldberg, *"An analysis of multipoint crossover », In Proceedings of the Foundation Of Genetic Algorithms. Foga, 1991.*

[Betts & Huffman, 1991] T.John Betts, P. William Huffman, *"Trajectory optimization on a parallel processor", Journal of Guidance, Control and Dynamics, 14(2):431--439, 1991.*

[Cantineau, 1960] *J. Cantineau, " Cours de Phonétique Arabe", Klincksiek, Paris, 1960.*

[Caruana & Schaffer, 1988] R.A. Caruana, J.D. Schaffer, *"Representation and hidden bias : Gray versus binary coding for genetic algorithms". In Proceedings of the Fifth International Conference on Machine Learning, 1988.*

[Cristianini & Taylor, 2000] N. Cristianini, J. Shawe-Taylor, *"Support Vector Machines".Cambridge Univertsity, Press, 2000.*

[Davis & al, 1980] S.B.Davis, P.Mermelstein, *"Comparison of parametric representations for monosyllabic word recognition in continuously spoken sentences", IEEE, Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-28, n°4, pp. 357-366, Août 1980.*

[Fogel & al, 1966] L.J. Fogel, A.J. Owens, M.J. Walsh. "Artificial Intelligence Through Simulated Evolution". "Wiley and sons". NY, 1966.

[Gilleron & Tommasi, 2000] R. Gilleron, M. Tommasi, *"Découverte de connaissances à partir de données". Technical report, Grappa - Université de Lille 3, 2000.*

[Goldberg, 1989] D.E. Goldberg , *"Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning Reading", MA Addison Wesley, 1989.*

[Hadj-Salah, 1971] *A. Hadj-Salah, " La notion de syllabe et la théorie cinétique-impulsionnelle des phonéticiens arabes ". Al-Lissaniyat. Revue Algérienne de Linguistique.Vol.1, pp. 63- 8383, I.L.P Alger, Algérie, 1971.*

[Hadj-Salah, 1987] *A. Hadj-Salah, "Arabic Linguidtic Phonetics, Applied Arabic Linguistic and Signal Information Processing " PP 3-22, 1987.*

[Hatton & al, 1991a] *J. Hatton, J. M. Pierrel, G. Perrenou, J. L. Gauvain, J. Caelen, "La Reconnaissance Automatique de la Parole". dunod, Paris, France, 1991.*

[Haton & al, 1991b] *J.P.Haton, J.M.Pierrel, G.Perennou, J.Caelen, J.L.Gauvain , "Reconnaissance Automatique de la Parole", Paris, afcet Dunod, BORDAS, 1991.*

[Haton, 1974] J.P. Haton, *"Contribution à l'analyse, la parametrisation de la parole" These d'etat, univertsité de Nancy I, 1974.*

[Holland, 1975] J.H. Holland, *"Adaptation in Natural and Artificial Systems", University of Michigan press, 1975.*

[Ingber & Rosen, 1992] L. Ingber and B. Rosen, *"Genetic algorithms and very fast simulated re-annealing. Mathematical Computer Modeling", 16(11):87--100, 1992.*

[Junqua, 1990] J.C. Junqua, *"Utilisation d'un modèle d'audition et de connaissances phonétiques en reconnaissance automatique de la parole", Traitement du signal, Vol 7 n° 4, pp. 275--284, 1990.*

[Koza & at, 1994] J.R. Koza, *"Genetic Programming II", The MIT Press, 1994. & D.E. Goldberg "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning Reading", MA Addison Wesley, 1989.*

[Markel & al, 1976] J.D.Markel, A. H Gray Jr, *"Lineair prediction of speech" Springer Verlag,New york, 1976.*

[Markel, 1972] L.D. Markel, *" Digital Iverse Filtring, a new tool for formant trajectory estimation", IEEE Trans AU-20 PP 129-137, 1972.*

[Michalewicz & Janikov, 1991] Z. Michalewicz, C.Z. Janikov, *"Handling constraints in Genetic Algorithms". In Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithm. ICGA, 1991.*

[Michalewicz, 1992] Z. Michalewicz, *"Genetic algorithms plus Data Structures equal to Evolution Programs", Springer-verlag, 1992.*

[Pierrel, 1987] *J.M. Pierrel,"Dialogue oral Homme-machine : connaissances linguistiques, architecture et stratégies des systèmes", Editions Hermès, 1987.*

[Rabiner, 1987] L.R.Rabiner. Boite, *"Traitement de la parole ". Presse Polytechniques Romandes Lausanne ,1987.*

[Tomassini, 1995] M. Tomassini, *A Survey of Genetic Algorithms. Annual Reviews of Computational Physics, 1995.*

[Vintsjuk, 1968] T. K. Vintsjuk, *"Recognition of words in oral speech using dynamic programming methods," Kibernetika, Vol 81, n°8, pp. 81-88, 1968.*

[Wakita, 1980] H. Wakita, *"Lineair Prediction of Speech and its application to speech processing" Speech Technologie Laboratery, Phonetica, vol 37, N°1-2, 1980.*

[Wright, 1991] A.H. Wright, *" Genetic algorithms for real parameter optimization. In Proceeding of the Foundation Of Genetic Algorithms". Foga, P 205-218,1991.*

الملحقات

فهرس الاختصارات

الرمز	المعنى باللغة العربية	المعنى باللغة الانجليزية	المعنى باللغة الفرنسية
AE	الخوارزميات التطورية	Evolutionary algorithms	Algorithmes évolutionnaires
AG	الخوارزميات الوراثية	Genetic algorithms	Algorithmes génétiques
AR	النمذجة التلقائية	Auto-Regressive modeling	modélisation Auto-Régressive
DAP	فك التشفير الأكوستي الصوتي	Phonetic Acoustic Decoding	Décodage acoustico-phonétique
EM	الأمل الأقصى	Maximum Hope	Espérance Maximale
GMM	خلائط قوانين قوسيان	Gaussian Mixture Models	Modèles de mélange gaussien
HMM	النماذج المخفية لماركوف	Hidden Markov Models	Model de Markov cachés
IPA	الابجدية الصوتية العالمية	international phonetic alphabet	alphabet phonétique international
LPC	الترميز الترقبي الخطي	Linear Predicting Coding	Codage prédictif linéaire
MFCC	المعاملات الراسية لترددات Mel	Mel Scale Frequency Cepstral Coefficients	Coefficients Cepstraux de Fréquences Mel
MLP	باركترون متعدد الطبقات	Multi Layers Perceptron	Perceptron multi couches
RAP	الاستكشاف الآلي للكلام	Automatic speech recognition	Reconnaissance automatique de la parole
SI	نظم المناعة	Immune Systems	Systèmes Immunitaires
TAP	العلاج الآلي للكلام	Automatic speech processing	Traitement automatique de la parole

Glossaire Français	English Glossary	مصطلح عربي
Acoustique	Acoustic	صوتي
Adaptation	Adaptation	تكييف
Algorithmes	Algorithms	خوارزميات
Allèles	Alleles	سلالات
Allophones	Allophone	شبه الصويتات / الالفون
Alvéole	Socket	تجويف
Appareil vocal	Vocal tract	جهاز لفظي
Approche	Approch	منحى
Arrière	Backward	خلفي
Articulatoire	Articulatory	نطقي / تلفظي
Automatique	Automatic	آلي
Bruit blanc	White noise	ضجيج فارغ
Caractères	Characters	أوصاف
Caractériser	To caracterize	ميزّ
Catégorie	Category	طائفة
Chaîne	String	سلسلة
Changement d'échèle	Scaling	تغيير المقياس
Chromosomes	Chromosomes	صبغيات
Classement	Ranking	ترتيب
Classer	To classify	صنف
Classification	Classification	تصنيف
Coarticulation	Coarticulation	التداخل اللفظي
Codage binaire	Binary coding	التشفير الازدواجي/الثنائي
Coefficient	Coefficient	معامل
Conduit	Tract	قصبة
Conduit vocal	Vocal tract	مجرى الصوتي
Consonantique	Consonantal	صوامتي
Consonnes	Consonants	صامتة / ساكنة
Constriction,	Constriction	إنقباض
Continuum	Continuum	وصلة
Convergence	Convergence	تقارب
Cordes vocales	Vocal chords	أوتار صوتية
Corpus	Corpus	مدونة
Critère	Criterium	معيار
Croisement	Cross-Over	التهجين
Dimension	Dimension	بعد
Discriminant	Discriminating	مميز
Distance	Distance	مسافة
Distinguer	To distinguish	ميز

Dupliqués	Duplicate	استنساخ
Échantillon	Sample	عينة
Échelle-Mel	Mel-Scale	سلم مال
Emphase	Emphasis	تشدق / تفخيم
Énergie résiduelle	Residual energy	الطاقة المتبقية
Équation normale	Normal equation	المعادلة المعتدلة
Espace	Space	فضاء
Excitation	Excitation	تحريض
Exploitation	Exploitation	استغلال
Extraction	Extraction	استخراج
Filtre	filter	مرشح
Flux d'air	Air flux	التدفق الهوائي
Fonction	Function	دالة
Fonction qualité	Fitness function	الدالة التكييفية
Fonction spectrale	Spectral function	الدالة الطيفية
Formants	Formants	البواني
Forme	Form	صيغة
Fréquences	Frequencies	تواترات
Fricatif	Fricative	احتكاكي
Génération	Generation	جيل
Gènes	Genes	جينات
Génétique	Genetic	وراثي
Globale	Global	إجمالي
Glottale	Glottal	حنجري
Glotte	Glottis	حنجرة
Glottique	Glottic	حنجرية
Homogène	Homogeneous	متجانس
Indices	Indices	دلائل
Influence	Influence	تأثير
Initiale	Initial	إبتدائي
Larynx	Larynx	حنجرة
Lexicale	Lexical	صرفي
Linéaire	Linear	خطي
Linguistique	Linguistic	لغوي
Locuteur	Speaker	متكلم
Maillon	Link	زريدة
Maximum	Maximum	ذروة
Mécanisme	Mechanism	ميكانيزم
Méthode	Method	أسلوب
Minimiser	To minimize	صغّر
Mode	Mode	منوال
Modèle	Model	نموذج،قالب

Mutation	Mutation	الطفرة / التحور
Occlusion	Obstruction	إنسداد
Occlusive	Occlusive	الانفجاري / الانسدادي
Onde	Wave	موجة
Opérateur	Operator	عامل
Optimum	Optimum	أمثل
Palatale	Palatal	حنكي
Parole	Speech	كلام
Partage	Sharing	المشاركة
Particularités	Particularities	خصوصيات
Partiel	Partial	جزئي
Pertinent	Relevant	ملائم
Pharyngale	Pharyngal	حلقي
Pharynx	Pharynx	البلعوم / الحلق
Phone	Phone	صوتة
Phonème	Phoneme	صوتة / الصُّوَيْت
Phonétique	Phonetic	الصوتي
Polynôme	Polynomial	متعدد المخارج
Population	Population	مجتمع
Prédictif	Predictive	ترقبي
Pseudo-Phonèmes	So-Called phonems	شبه صويتات
Rang	Rank	رتبة
Reconnaissance	Recognition	استكشاف
Recursion	Recursion	تكرار
Référence	Reference	مرجع
Relation	Relation	صلة
Représentation	Representation	تمثيل
Reproduction	Reproduction	توالد / تكاثر
Résonant	Resonant	رنان/نغمي
Section variable	Variable section	مقطع متغير
Segmentation	Segmentation	تجزئة
Sélection	selection	الإصطفاء
Signal	Signal	إشارة
Significatif	Significant	معبر
Souplesse	Soupleness	ليونة
Sourd	Unvoiced	مهموس
Spectre	Spectrum	طيف
Stable	Steady	مستقر
Stochastique	Stochastic	تصادفي / استكشافي
Stratégie	Strategy	تنظيم
Structuré	Structered	مهيكل
Syllabes	Syllables	مقاطع صوتية

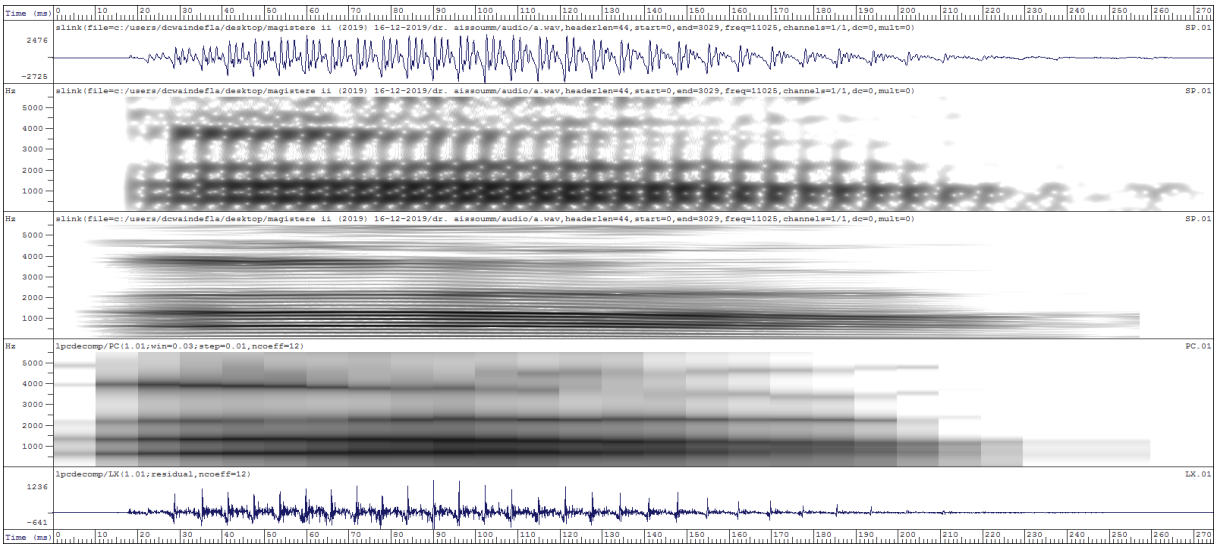
Syntaxique	Syntactic	نحوي
Système	System	نظام
Taux	Rate	نسبة
Tirage de roulette	Roulette-Wheel selection	السحب الدوالبي
Tournoi	Tournament	دورة
Transcription	Transcription	نسخ
Transition	Transition	انتقال
Uniforme	Uniform	منتظم
Unité	Unit	وحدة
Uvulaires	Uvulars	اللهوية
Variables réelles	Real variables	المتغيرات الحقيقية
Variation	Variation	تغير
Vecteur	Vector	شعاع
Vélaire	Velar	لهوي
Vélarisation	Velarization	الإطباق
Vibrer	To vibrate	اهتز
Voyelle	Vowel	مصوتة

1. التمثيلات البيانية لمختلف الإشارات الصوتية:

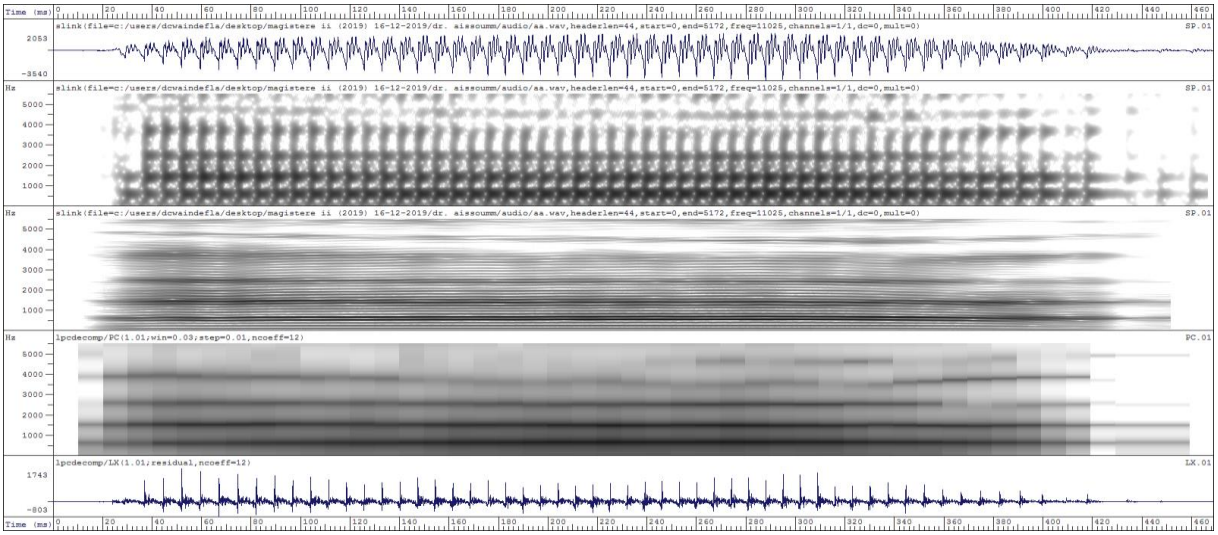
التمثيلات البيانية الخاصة بالمصوتات والجمل المكونة لمدونة البحث بالاعتماد تقنية الترميز الخطي التنبؤي (LPC: *Linear Predicting Coding*) وهذا باستعمال البرنامج التطبيقي SFSWin الخاص بتحليل الإشارة الصوتية:

1.1. المصوتات:

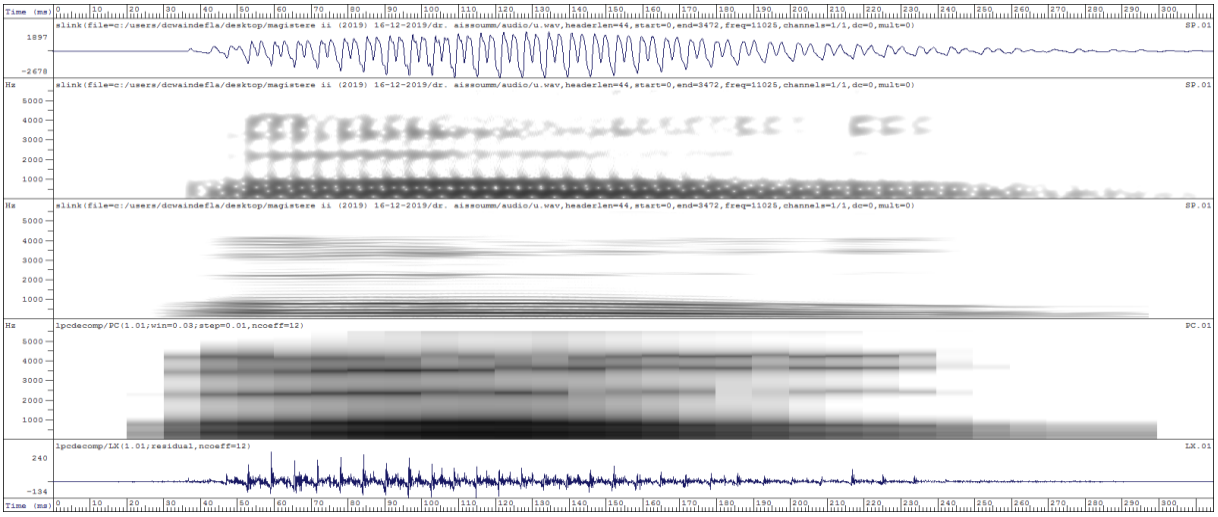
المُصوت: [a]



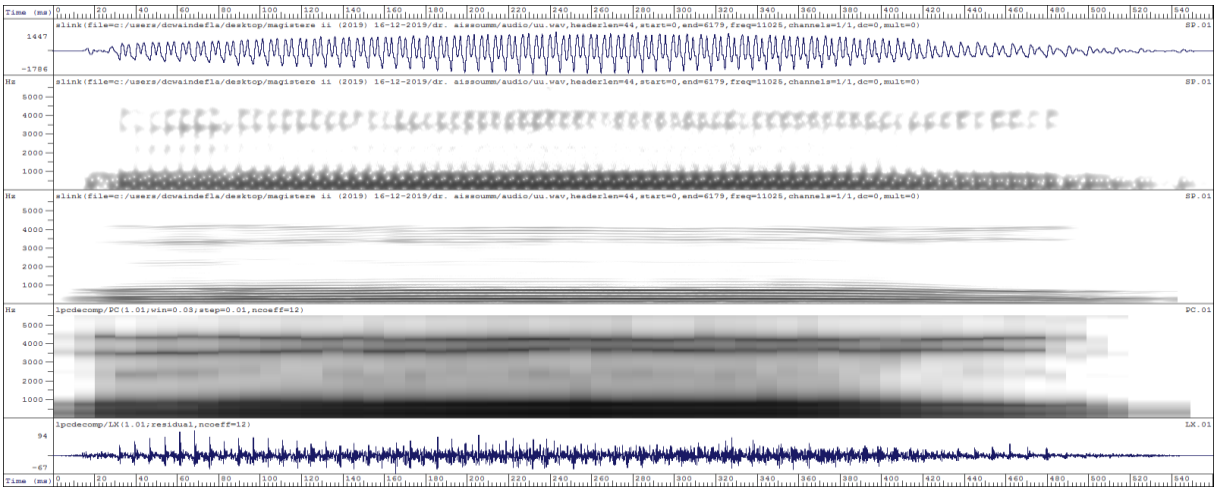
المُصوت: [a:]



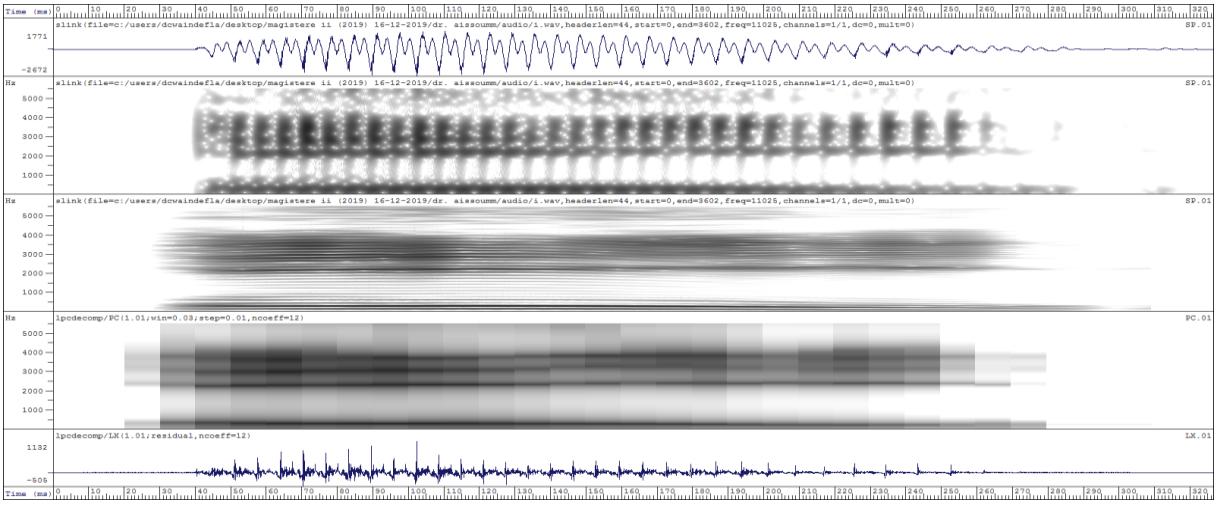
المُصوت: [u]



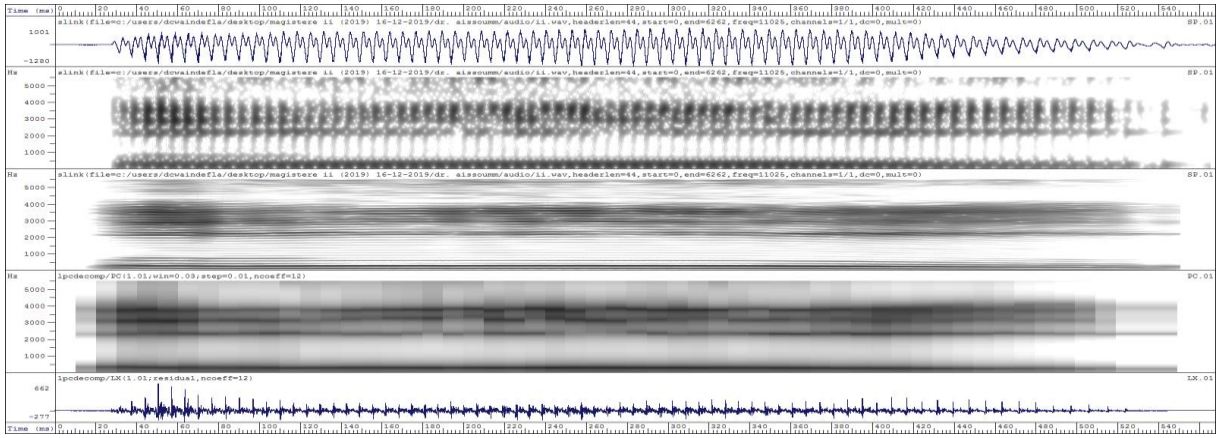
المُصوت: [u:]



المُصوت: [i]

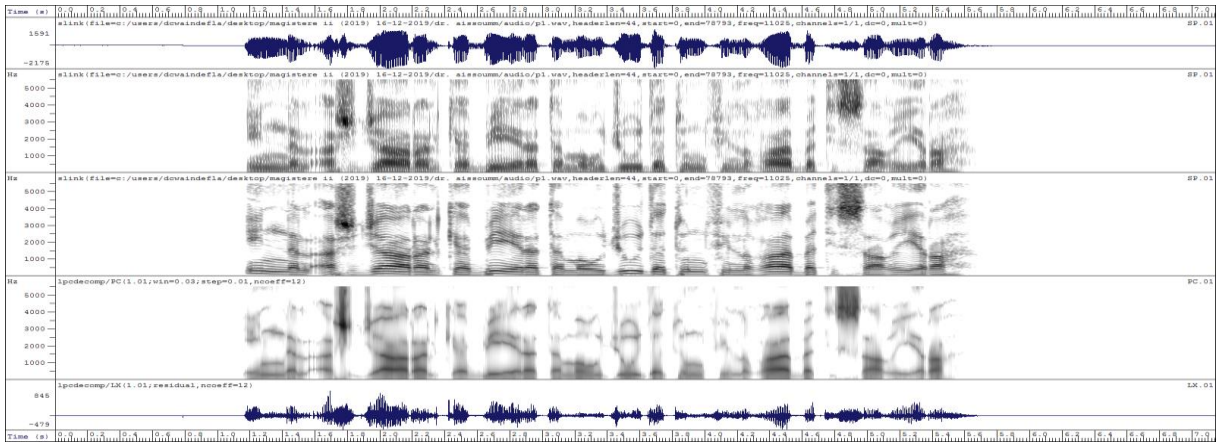


المُصوت: [i:]

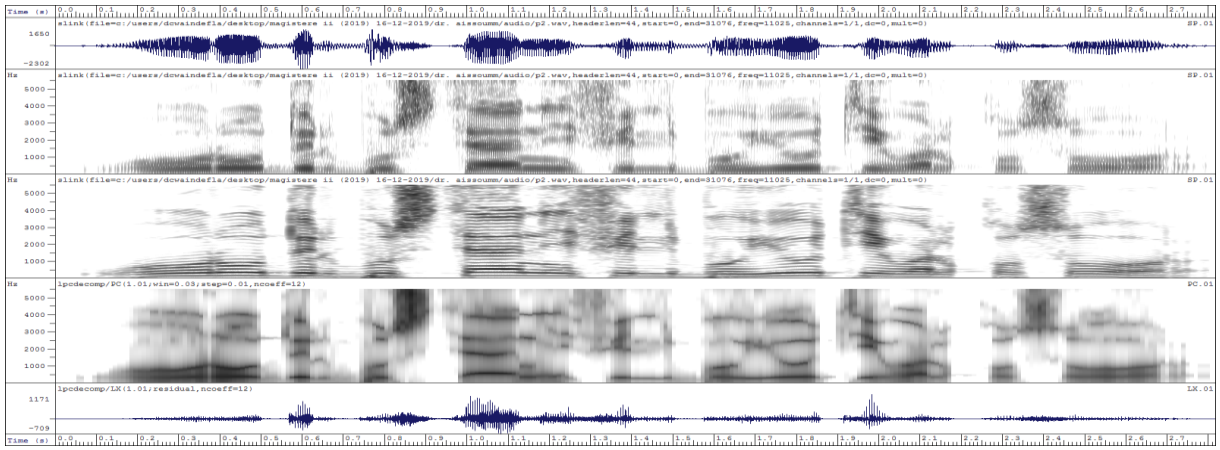


1.2. جمل مدونة البحث:

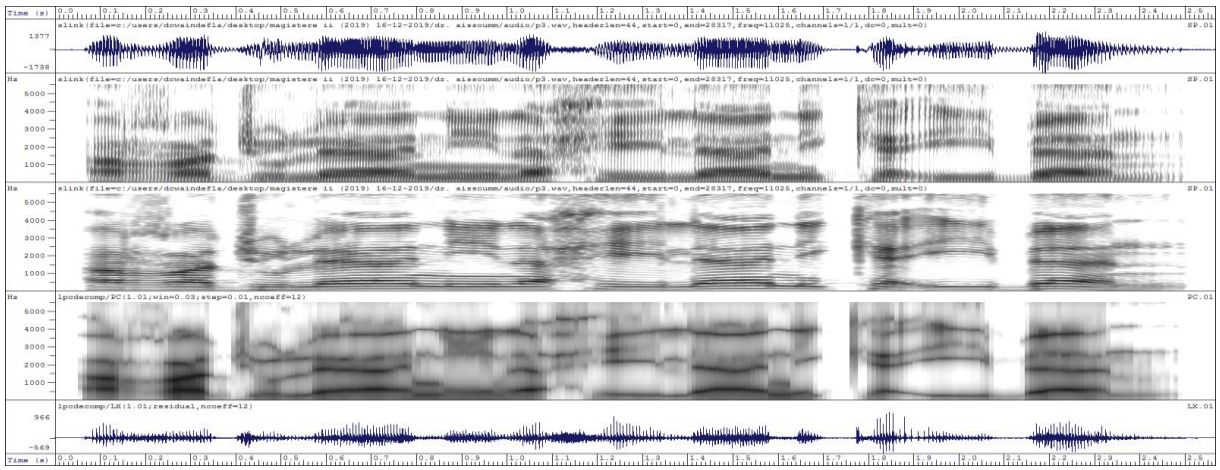
الجملة الأولى: إِن الأشجَارَ الكَبِيرَة مَوجُودَة فِي الغَابَة الصَغِيرَة.



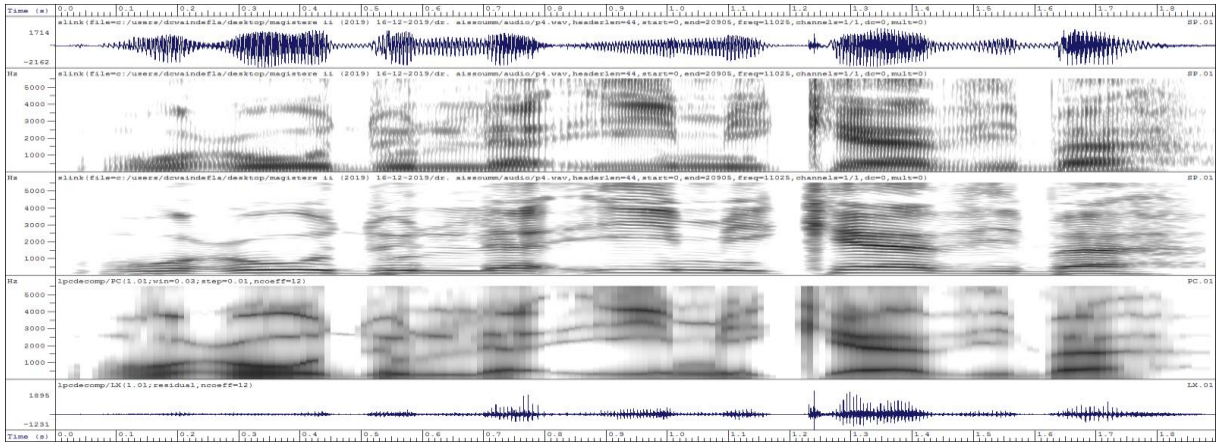
الجملة الثانية: ورُودُ البُستَان فِي البُيوت والقُصُور.



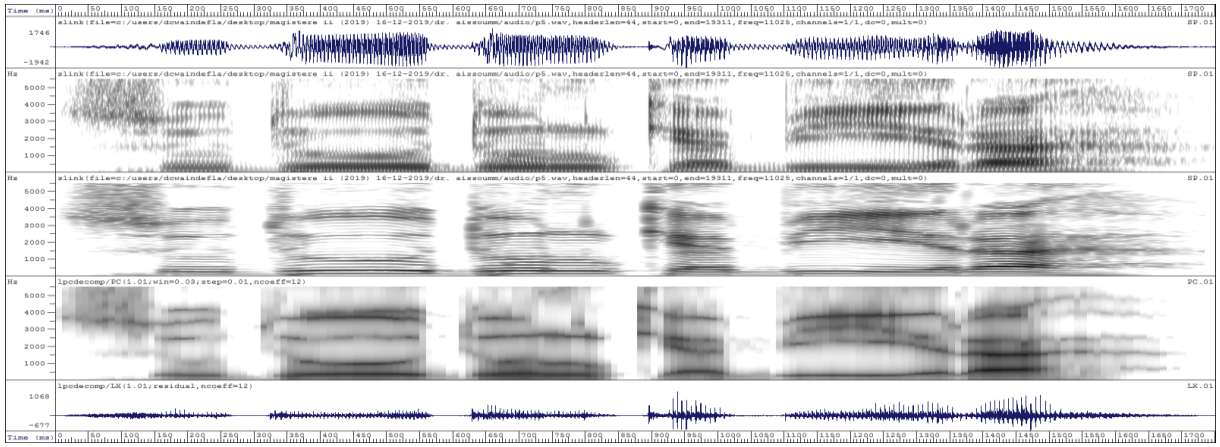
الجملة الثالثة: الرَجُلاَن نَحِيلاَن كَئِيبَان.



الجملة الرابعة: وعُودُ اللَئيم كَاذِبَة.



الجملة الخامسة: سُدُودٌ كَبِيرَة.



1. قيم المعطيات لمختلف الإشارات الصوتية:

نستعرض في هذا الجزء مختلف قيم المعطيات المستخرجة الخاصة بالجمل المكونة لمدونة البحث بالاعتماد تقنية الترميز الخطي التنبؤي (LPC: *Linear Predicting Coding*) وهذا باستعمال البرنامج التطبيقي SFSWin الخاص بتحليل الإشارة الصوتية:

1.1. جمل مدونة البحث:

الجملة الأولى: إن الأشجَارَ الكَبِيرَة مَوجُودَة فِي الغَابَة الصَغِيرَة.

```
Format          : 4 byte structured
Frame size      : 18                    Frame count     : 713
Total Length    : 51336                 Frame Duration  : 9.07029e-005 (11025 Hz)
Window size     : 331                   Overlap         : 221
Offset          : 0                     Last Position   : 78651
Comment         :
Data Starts:
posn=0 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.576631 data=1.01154 0.803143 0.634471
0.388291 0.447846 0.345803 0.236564 0.123004 0.0254459 0.079812 0.0358476
0.0410034 0.0297869
posn=110 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.596221 data=1.05414 0.842881 0.880433
0.68343 0.594211 0.55849 0.430249 0.31716 0.273577 0.058723 -0.0120869
0.0297283 -0.0328765
posn=220 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.548326 data=1.0137 0.875043 0.933388
0.68151 0.52786 0.425204 0.430865 0.409943 0.297894 0.130491 0.1695 0.13918
0.00755006
posn=330 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.543468 data=1.05867 0.955258 0.956384
0.635084 0.521634 0.476279 0.627391 0.680803 0.543009 0.351444 0.222263
0.167565 -0.0287115
posn=440 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.530358 data=0.922275 0.768887 0.75489
0.587329 0.329335 0.38611 0.441186 0.459766 0.427224 0.35039 0.30067 0.173504
0.0793655
```

الجملة الثانية: ورُودُ البُستَان فِي البُيوت والقُصُور.

```
Format          : 4 byte structured
Frame size      : 18                    Frame count     : 279
Total Length    : 20088                 Frame Duration  : 9.07029e-005 (11025 Hz)
Window size     : 331                   Overlap         : 221
Offset          : 0                     Last Position   : 30911
Comment         :
Data Starts:
posn=0 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.692373 data=0.401147 0.049185 0.154204
0.00177438 -0.0450864 -0.0165227 0.0794261 0.0398747 0.142327 0.0231594
0.126707 0.0985984 -0.0130321
posn=110 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.684519 data=0.460148 0.1135 0.160312
0.0775572 -0.0636765 -0.0728855 0.0421015 0.0884103 0.0785574 0.00828876
0.174057 0.143179 -0.0207646
posn=220 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.658282 data=0.393173 0.011882 0.0996182
0.0752107 0.0606762 -0.0164516 0.10441 0.0408581 0.162033 0.108216 0.181605
0.0644695 -0.0859578
posn=330 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.579828 data=0.561154 0.274732 0.17767
0.0690077 0.106674 0.187463 0.201632 0.0286153 0.178204 0.111357 0.109084
0.0705208 -0.00701587
posn=440 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.652327 data=0.208218 -0.12796 0.0382415
-0.128757 -0.0168861 -0.0602755 -0.0466961 -0.0392787 -0.0735682 -0.0413486
0.00738809 0.0343294 -0.0676587
```

الجملة الثالثة: الرَجُلاَن نَحِيلاَن كَئِيبَان.

```
Format          : 4 byte structured
Frame size      : 18                    Frame count     : 254
Total Length    : 18288                 Frame Duration  : 9.07029e-005 (11025 Hz)
Window size     : 331                   Overlap         : 221
Offset          : 0                     Last Position   : 28161
Comment         :
Data Starts:
posn=0 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.613036 data=0.420169 0.0790536 0.0239013
0.025172 0.113874 0.122198 0.0850996 0.0713959 0.112898 0.108309 0.0546129
0.0422807 -0.0689847
posn=110 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.652468 data=0.380876 0.195638 0.186789
0.136513 0.0291242 -0.0764121 0.179038 0.062388 0.0151595 -0.0529382 0.0648021
-0.0202194 -0.0548349
posn=220 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.614404 data=0.464895 0.180409 0.140806
0.0618425 0.071306 -0.0774347 0.0965234 0.0341778 -0.028457 -0.0900937
0.0412199 0.0996366 -0.0285049
posn=330 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.660574 data=0.49734 0.213587 0.191374
0.00330582 0.0589305 0.00865686 -0.013194 -0.0128141 -0.0488232 -0.158009
-0.131634 0.0194172 0.0595421
posn=440 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.720524 data=0.329355 0.108925 0.33703
0.171276 0.283845 0.310317 0.101183 0.135487 0.0896658 0.0493872 0.0480275
-0.0469842 0.160729
```

الجملة الرابعة: وعُودُ اللَئيم كَاذِبَة.

```
Format          : 4 byte structured
Frame size      : 18                    Frame count     : 187
Total Length    : 13464                 Frame Duration  : 9.07029e-005 (11025 Hz)
Window size     : 331                   Overlap         : 221
Offset          : 0                     Last Position   : 20791
Comment         :
Data Starts:
posn=0 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.762647 data=0.23795 -0.282242 -0.0401651
-0.186121 0.0780322 0.0356878 -0.151511 0.0270366 -0.00552249 -0.00303586
0.0648235 -0.041518 -0.0391335
posn=110 size=331 flag=0 mix=0 gain=0.84709 data=-0.122634 -0.296117 -0.148793
-0.127804 0.0119183 -0.0360339 0.0430366 -0.0631816 -0.13138 -0.00356869
0.062275 0.0897966 -0.0479658
posn=220 size=331 flag=0 mix=0 gain=3.98905 data=-0.721921 -0.382191 0.0227082
-0.303743 0.257637 0.359225 0.326469 -0.287878 -0.246772 -0.0263516 -0.126982
0.170107 0.0673798
posn=330 size=331 flag=0 mix=0 gain=5.99428 data=-0.865018 -0.1765 0.00309518
-0.440609 0.438164 0.270655 0.38467 -0.214735 -0.435517 0.0695114 -0.166781
0.0977709 0.184752
posn=440 size=331 flag=0 mix=0 gain=1.44281 data=-0.332583 -0.492109 -0.181471
-0.0814435 0.219156 0.150389 0.076689 0.0313898 -0.134633 -0.12946 0.0980719
0.0136398 0.0729483
```

الجملة الخامسة: سُدُودٌ كَبِيرَة.

```
Format          : 4 byte structured
Frame size      : 18                    Frame count     : 172
Total Length    : 12384                 Frame Duration  : 9.07029e-005 (11025 Hz)
Window size     : 331                   Overlap         : 221
Offset          : 0                     Last Position   : 19141
Comment         :
Data Starts:
posn=0 size=331 flag=0 mix=0 gain=5.16877 data=0.9549 0.635226 -0.285334
-0.165973 0.172991 0.270556 -0.0733714 -0.21324 -0.238702 0.0989925 0.091356
0.173091 -0.0101238
posn=110 size=331 flag=0 mix=0 gain=13.7699 data=1.22438 1.19283 0.260499
-0.0400494 -0.0508207 0.0114748 -0.252138 -0.356126 -0.363469 -0.037243
0.193273 0.259117 0.0995238
posn=220 size=331 flag=0 mix=0 gain=14.6723 data=1.42994 1.42167 0.749105
0.364707 0.307421 0.201896 -0.0519571 -0.174527 -0.234811 -0.145312 -0.0191269
0.0496364 0.0513585
posn=330 size=331 flag=0 mix=0 gain=22.7224 data=1.6141 1.57817 0.643386
-0.0705085 -0.242517 -0.225847 -0.360367 -0.487158 -0.553847 -0.422716
-0.151456 0.0710648 0.111619
posn=440 size=331 flag=0 mix=0 gain=28.5524 data=1.55149 1.43639 0.511672
-0.251695 -0.313086 -0.232233 -0.378068 -0.646097 -0.663785 -0.349355
0.0194815 0.153028 0.109771
```

1. الخوارزمية المستخدمة:

نستعرض في هذا الملحق بعض الاجزاء من الخوارزميات المستخدمة في برنامج ماتلاب MATLAB 6.5 من أجل الاستكشاف الالي للمصوتات في الجمل السابقة الذكر، وهذا باستعمال الخوارزميات الوراثية:

1.1. تصنيف المصوتات: الجزء الخاص بالخوارزمية الخاصة بتصنيف المصوتات للغة العربية الفصحى الخاص بالمدونات المستعملة باستخدام بعد مانهاتن:

```
function yyy= my_fun(i,j)
global p1, d,a,aa,i,ii,u,uu,k,m,l,f,d,n,y,w,q,r,h,cha,s,kha,t,tha,gha,dta,w,hamza,z,x [na,naa]=size(a) ;
[naa,naaa]=size(aa); [nu, nuu]=size (u); [nuu, nuuu]=size (uu);
[nw,nww]=size(w); [ni, nii]=size (i); [nii, niii]=size (ii); [ny, nyy]= size(y);
[nk, nkk]=size (k); [nm, nmm]=size (m); [nl, nll]=size (l); [nd, ndd]=size (d);
[nn, nnn]=size (n); [nq, nqq]=size (q); [nr, nrr]=size (r); [nh, nhh]=size (h);
[ncha, nchacha]=size (cha); [ns, nss]=size (s); [nkha, nkhakha]=size (kha);
[nt, ntt]=size (t); [ntha, nthatha]=size (tha); [ngha, nghagha]=size (gha);
[ndta, ndtadta]=size (dta); [nhamza, nhamzahamza]=size (hamza);
[nz, nzz]=size (z); [nx, nxx]=size (x); [ncorpus, nccorpus]=size(p1); for count=1:ncorpus-50;
        corpus 11 a=p 1 (count:count+na-1,:);
                AAAa (count)=1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+na- 1,:)-a(1:na, :)))));
                Fea=AAAa';
        corpus 11 aa=p 1 (count:count+naa-1,:);
                AAAaa (count)=1/(sum(sum(abs(p1 (count:count+naa-1 ,:)-aa( 1 :naa, :)))));
                Feaa=AAAaa';
        corpus 11u=p 1 (count:count+nu-1,:);
                AAAu(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nu-1, :)-u(1 :nu,:)))));
                Feu=AAAu';
        corpus 11uu=p 1 (count:count+nuu-1, :);
                AAAuu(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nuu-1, :)-uu( 1 : nuu, :))))); Feuu=AAAuu';
        corpus 11 i=p 1 (count:count+ni-1,:);
                AAAi(count) =1/(sum(sum(abs(p1(count:count+ni-1,:)-i(1:ni,:)))));
                Fei=AAAi';
        corpus 11ii=p 1 (count:count+nii-1, :);
                AAAii(count) =1/(sum(sum(abs(p1(count:count+nii-1,:)-ii(1:nii,:)))));
                Feii=AAAii';
        corpus 11y=p 1 (count:count+ny-1,:);
                AAAy(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+ny-1 ,:)-y(1 :ny, :)))));
                Fey=AAAy';
        corpus11w=p1(count:count+nw-1,:);
                AAAw(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nw-1, :)-w( 1 :nw, :)))));
                Few=AAAw';
        corpus 11k=p 1 (count:count+nk-1,:);
                AAAk(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nk-1, :)-k(1 :nk,:)))));
                Fek=AAAk';
        corpus 11d=p 1 (count:count+nd-1, :);
                AAAd(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nd-1, :)-d(1 :nd,:)))));
                Fed=AAAd';
        corpus11f=p1(count:count+nf-1,:);
                AAAf(count) =1/(sum(sum(abs(p1(count:count+uf-1,:)-f(1:nf,:)))));
                Fef=AAAf;
        corpus 11 l=p 1 (count:count+nl-1,:);
                AAAl(count) =1/(sum(sum(abs(p1(count:count+nl-1,:)-l(1:nl,:)))));
                Fel=AAAl';
```

```
corpus11m=p1(count:count+nm-1,:);
        AAAm(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nm-1, :)-m( 1 : nm, :)))));
        Fem=AAAm';
corpus 11 n=p 1 (count:count+nn-1,:);
        AAAn(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nn-1, :)-n(1 :nn,:)))));
        Fen=AAAn';
corpus 11 r=p 1 (count:count+nr-1,:);
        AAAr(count) =1/(sum(sum(ab s(p1 (count:count+nr- 1,:)-r(1:nr,:)))));
        Fer=AAAr';
corpus11s=p1(count:count+ns-1,:);
        AAAs(count) =1/(sum(sum(abs(p1(count:count+ns-1,:)-s(1:ns,:)))));
        Fes=AAAs';
corpus 11t=p 1 (count:count+nt-1,:);
        AAAt(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nt- 1,:)-t(1:nt,:)))));
        Fet=AAAt';
corpus 11 h=p 1 (count:count+nh-1,:);
        AAAh (count)=1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nh-1, :)-h(1 :nh,:)))));
        Feh=AAAh';
corpus 11 cha=p 1 (count:count+ncha-1,:);
        AAAcha(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+ncha-1 ,:)-cha( 1 :ncha, :)))));
        Fecha=AAAcha';
corpus 11kha=p 1 (count:count+nkha-1, :);
        AAAkha(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+nkha-1 ,:)-kha( 1 :nkha,:)))));
        Fekha=AAAkha';
corpus 11tha=p 1 (count:count+ntha-1, :);
        AAAtha(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+ntha-1, :)-tha( 1 :ntha,:)))));
        Fetha=AAAtha';
corpus 11 gha=p 1 (count:count+ngha-1,:);
        AAAgha(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+ngha-1 ,:)-gha( 1 :ngha,:)))));
        Fegha=AAAgha';
corpus 11 dta=p 1 (count:count+ndta-1,:);
        AAAdta(count) =1/(sum(sum(abs(p 1 (count:count+ndta-1, :)-dta( 1 :ndta,:)))));
        Fedta=AAAdta';
    j=1:ncorpus-50;
        ü=j';
        t=jj*10 ;
            format long e
            resultMax= [Fea,Feaa,Feuu, Feu,Fei,Feii,Fey, Few, Feh, Fef, Fed,Fek, Fel,Fem, Fen,
Feq,Fer,Fes,Fet,Fetha,Fecha,Fegha,Fekha,Fedta ];
plot(jj ,Fea,jj ,Feaa,jj ,Feu,jj ,Feuu,jj ,Fei,jj ,Feii,jj ,Fey,jj ,Few,jj ,Feh,jj ,Fed,jj ,Fef,jj ,Fel,jj ,Fem,jj ,Fen,jj,Fer,jj
,Fes,jj ,Fe
q,jj ,Fek,jj ,Fet,jj ,Fetha,jj ,Fegha,jj,Fecha,jj ,Fedta,jj ,Fekha)
end
```

2.1. تصنيف المصوتات وأشباه المصوتات: الجزء الخاص بالخوارزمية الخاصة بتصنيف وترتيب المصوتات وأشباه المصوتات للغة العربية الفصحى الخاص بالمدونات المستعملة باستخدام بعد مانهاتن:

```
function yyy= my_fun(i,j) global corpus, a,aa,i,ii,u,uu,y,w [na,naa]=size(a);
[naa,naaa]=size(aa) ;
[nu, nuu]=size (u);
[nuu, nuuu]=size (uu);
[ni, nii]=size (i);
[nii, niii]=size (ii);
[ny, nyy]= size(y);
[nw, nww]=size (w); corpus1=corpus111(1:2583,2:43);
[ncorpus, nccorpus]=size(corpus1); for count=1:ncorpus-51;
```

```
        corpus 11 a=corpus 1 (count:count+na-1,:);
                AAAa (count)=1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+na- 1,:)-a(1:na,:)))));
                Fea=AAAa';
                yfa=Fea*1;
Ma=mean(yfa);
za=(Ma+Ma/10)<yfa;
      corpus11aa=corpus1(count:count+naa-1,:);
                AAAaa (count)=1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+naa-1, :)-aa( 1 :naa, :)))));
                Feaa=AAAaa';
           yfaa=Feaa*1;
Maa=mean(yfaa) ;
zaa=(Maa+Maa/10)<yfaa;
      corpus11u=corpus1(count:count+nu-1,:);
                AAAu(count) =1/(sum(sum(ab s(corpus 1 (count:count+nu- 1,:)-
           u(1:nu,:))))); Feu=AAAu'; yfu=Feu*1;
Mu=mean(yfu);
zu=(Mu+Mu/10)<yfu;
      corpus 11uu=corpus 1 (count:count+nuu-1,:);
                AAAuu(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+nuu-1, :)-uu( 1 :nuu,
           :))))); Feuu=AAAuu'; yfuu=Feuu*1;
Muu=mean(yfuu) ;
zuu=(Muu+Muu/10)<yfuu;
      corpus 11 i=corpus 1 (count:count+ni-1,:);
                AAAi(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+ni- 1,:)-i(1
           :ni,:))))); Fei=AAAi'; yfi=Fei*1;
Mi=mean(yfi);
zi=(Mi+Mi/10)<yfi;
      corpus 11 ii=corpus 1 (count:count+nii-1,:);
                AAAii(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+nii-1 ,:)-ii(1
           :nii,:))))); Feii=AAAii'; yfii=Feii*1;
Mii=mean(yfii);
zii=(Mii+Mii/10)<yfii;
      corpus 11y=corpus 1 (count:count+ny-1,:);
                AAAy(count) =1/(sum(sum(abs(corpus1(count:count+ny-1,:)-y(1:ny,:)))));
           Fey=AAAy'; yfy=Fey*1;
Mw=mean(yfy);
zy=(Mw+Mw/10)<yfy;
      corpus11w=corpus1(count:count+nw-1,:);
                AAAw(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+nw-1 ,:)-w( 1
           :nw,:))))); Few=AAAw'; yfw=Few*1;
My=mean(yfw);
zw=(My+My/10)<yfw;
j=1:ncorpus-51;
                    ü=j';
                    t=jj*10 ;
                        format long e
                        resultMax= [Fea,Feaa,Feuu, Feu,Fei,Feii,Fey, Few] ;

end

plot(t,Fea,t,Feaa,t,Feu,t,Feuu,t,Fei,t,Feii,t,Fey,t,Few);
                    plot(t,za,t,zaa,t,zu,t,zuu,t,zi,t,zii,t,zy,t,zw);
```

3.1. تصنيف المُصوت [a] باستعمال بعد مانهاتن وكذا البعد الإقليدي: الجزء الخاص بالخوارزمية الخاصة بتصنيف المُصوت [a] باستعمال بعد مانهاتن وكذا البعد الإقليدي:

```
function yy= my_fun(i,j)
[na,naa]=size(a);
corpus1=corpus111(1:2583,2:43);
[ncorpus, nccorpus]=size(corpus1);
    for count=1:ncorpus-na+1;
corpus11=corpus1(count:count+na-1,:);
yyy(count)=1/(sum(sum(abs(corpus 11(1:na,:)-a(1:na ,:)))));
    Fea=yyy';
    for k=1:42-na+1;
yy(:,:)= 1/(sqrtm(abs(sum(sum((corpus1(count:count+na-1,k:k+na-1))^A2-(a(:,k:k+na-1))^A2)))));
yyyy(count)=yy(1,1);
Feucla=yyyy';
    end
    end
    plot(1:ncorpus-na+1,Fea, 1 :ncorpus-
      na+1,Feucla) plot(1:500,Feucla( 1:500,1))

function yy= my_fun(i,j)
[na,naa]=size(a);
corpus1=p3;
[ncorpus, nccorpus]=size(corpus1);

for count=1:ncorpus-na+1; for k=1:42-na+1;
yy(:,:)= 1/(sqrtm(abs(sum(sum((corpus1(count:count+na-1,k:k+na-1))^A2-(a(:,k:k+na-1))^A2)))));
yyy(count)=yy(1,1);
Feucla=yyy';
end
end
j=1:ncorpus-na+1;
                        li=j';
                        t=jj*10 ;
[jn,in]=size(Feucla);
yf=Feucla*1;
Mm=mean(yf);
z=11/6*Mm<yf;
plot(t,z)
```

4.1. تصنيف المُصوت [a]: الجزء الخاص بالخوارزمية الخاصة بحساب الدالة الموضوعية أي دالة البعد لمانهاتن لنموذجنا الجيني باستعمال برنامج ماطلاب6.5 لتصنيف المُصوت [a] في المدونات المستخدمة:

```
function yy= my_fun(i,j) global a p1 [na,naa]=size(a);
[ncorpus, nccorpus]=size(p1);
    for count=1:ncorpus-na+1; for k=1:42-na+1;
yy(:,:)= 1/(sqrtm(abs(sum(sum((p1(count:count+na-1,k:k+na-1))A2-(a(:,k:k+na-1))A2))))); yyy(count) =yy(1,1);
Feucla=yyy';
end
end
```

5.1. حساب دالة بعد مانهاتن: الجزء الخاص بالخوارزمية الخاص بحساب الدالة الموضوعية لمانهاتن:

```
function yyy= my_fun(i,j) global corpus, m,n,r,t,q,h,tha,cha
[ntha,nthatha]=size(tha); [nt,ntt]=size(t); [nm, nmm]=size (m); [nn, nnn]=size (n);
[nr, nrr]=size (r); [nq, nqq]=size (q); [ncha, nchacha]= size(cha); [nh, nhh]=size (h);
```

```
corpus1=corpus111(1:2583,2:43);
[ncorpus, nccorpus]=size(corpus1); for count=1:ncorpus-51;
        corpus 11tha=corpus 1 (count:count+ntha-1,:);
                AAAtha (count)=1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+ntha-1, :)-tha( 1 :ntha,
                :))))); Fetha=AAAtha'; yftha=Fetha*1;
Mtha=mean(yftha);
ztha=(Mtha+Mtha/10)<yftha;
        corpus 11 cha=corpus 1 (count:count+ncha-1,:);
                AAAcha (count)=1/(sum(sum(abs(corpus1(count:count+ncha-1,:)-cha(1:ncha,:)))));
            Fecha=AAAcha'; yfcha=Fecha*1;
Mcha=mean(yfcha);
zcha=(Mcha+Mcha/10)<yfcha;
        corpus 11 h=corpus 1 (count:count+nh-1,:);
                AAAh(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+nh- 1,:)-h(1:nh,:)))));
                Feh=AAAh';
            yfh=Feh*1;
Mh=mean(yfh);
zh=(Mh+Mh/10)<yfh;
        corpus 11t=corpus 1 (count:count+nt-1,:);
                AAAt(count) =1/(sum(sum(abs(corpus1(count:count+nt-1,:)-t(1:nt,:)))));
                Fet=AAAt';
            yft=Fet*1;
Mt=mean(yft); zt=(Mt+Mt/10)<yft;
        corpus 11 r=corpus 1 (count:count+nr-1,:);
                AAAr(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+nr- 1,:)-r(1:nr, :)))));
                Fer=AAAr';
            yfr=Fer*1;
Mr=mean(yfr);
zr=(Mr+Mr/10)<yfr;
        corpus 11 q=corpus 1 (count:count+nq-1,:);
                AAAq(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+nq- 1,:)-q(1:nq,:)))));
                Feq=AAAq';
            yfq=Feq*1;
Mq=mean(yfq);
zq=(Mq+Mq/10)<yfq;
        corpus 11 m=corpus 1 (count:count+nm-1,:);
                AAAm(count) =1/(sum(sum(abs(corpus1(count:count+nm-1,:)-m(1:nm,:)))));
            Fem=AAAm'; yfm=Fem*1;
Mm=mean(yfm);
zm=(Mm+Mm/10)<yfm;
        corpus 11 n=corpus 1 (count:count+nn-1,:);
                AAAn(count) =1/(sum(sum(abs(corpus 1 (count:count+nn- 1,:)-n(1:nn,:)))));
                Fen=AAAn';
            yfn=Fen*1;
Mn=mean(yfn);
zn=(Mn+Mn/10)<yfn;
j=1:ncorpus-51;
                    ü=j';
                    t=ü*10 ;
                        format long e
                        resultMax= [Fetha,Fecha,Fem,Feq,Fer,Fet, Feh];

end

plot(t,Fetha,t,Fecha,t,Feq,t,Fer,t,Fet,t,Feh,t,Fem);
                    plot(t,zcha,t,zh,);
```

6.1. الدالة الموضوعية لمانهاتن: الجزء الخاص بالخوارزمية الخاصة بالدالة الموضوعية لمانهاتن:

```
function yyy= my_fun(i,j) global a p1
    fitnessFunction=@Fmap1count;
       %%Fitness
function  %%Number  of
Variables  GenomeLength
= na*42; nvars = na*42;
%Start with default options options = gaoptimset;
%%Modify some parameters
options = gaoptimset(options,'PopulationSize' ,100);
options = gaoptimset(options,'MigrationFraction' ,0);
options = gaoptimset(options,'StallGenLimit' ,20);
options = gaoptimset(options,'StallTimeLimit' ,Inf);
options = gaoptimset(options,'SelectionFcn' ,@selectionroulette);
options = gaoptimset(options,'CrossoverFcn' ,@crossovertwopoint);
options = gaoptimset(options,'MutationFcn' ,{ @mutationuniform 0.01 });
options = gaoptimset(options,'Display' ,'diagnose');
options = gaoptimset('InitialPop', final_pop);
options = gaoptimset(options,'PlotFcns' ,{ @gaplotbestf @gaplotbestindiv @gaplotdistance @gaplotexpectation
@gaplotgenealogy @gaplotrange @gaplotscorediversity @gaplotscores @gaplotselection @gaplotstopping });
%%Run GA deterministicstudy
[X,FVAL,REASON,OUTPUT,final_pop,SCORES] = ga(@Fmap1count, na*42,options)
```