جامعة الشهيد عبد الحفيظ بوالصوف ميلة

قسم اللغة والأدب العربي السنة الأولى ماستر لسانيات تطبيقية

أستاذ المادة: ع.ح معزوز

محاضرة 1: مشكلات توصيف المستوى الصوتي في اللغة العربية حاسوبيا

يعتبر توصيف المستوى الصوتي (Phonological Level) للغة العربية حاسوبياً من أكثر المهام تعقيداً في معالجة اللغات الطبيعية (NLP). تكمن الصعوبة في الفجوة الكبيرة بين "المنطوق" و"المكتوب"، بالإضافة إلى الخصائص الفيزيائية والتشريحية الفريدة للأصوات العربية.

فيما يلي أبرز المشكلات التي تواجه هذا المجال:

1. مشكلة نظام الكتابة (Orthography vs. Phonology)

اللغة العربية تُكتب غالباً بدون "حركات" (Tashkeel)، مما يخلق غموضاً صوتياً هائلاً للحاسوب.

- **المشكلة:** كلمة واحدة مكتوبة قد تعبر عن عدة كيانات صوتية مختلفة تماماً.
- **مثال:** كلمة **(علم)**.
  - صوتياً قد تكون: **عَلِمَ** /ʕalima/ (فعل).
  - أو: **عِلْم** /ʕilm/ (اسم).
  - أو: **عَلَّمَ** /ʕallama/ (فعل مزيد مع تضعيف).
  - الحاسوب يحتاج لمحرك استنتاج سياقي ليعرف التوصيف الصوتي الصحيح.

2. ظاهرة التضعيف (Gemination)

في العربية، الشدة ليست مجرد علامة شكلية، بل هي "حرفان" من الناحية الصوتية (ساكن فمتحرك).

- **المشكلة:** الحاسوب قد يعالج الحرف المشدد كحرف واحد إذا لم يتم ترميزه بدقة، مما يؤثر على طول المقطع الصوتي ونبرة الصوت (Prosody) في توليد الكلام.

- **مثال:** كلمة **(كسر)** vs **(كسّر)**. التغيير هنا ليس في المعنى فقط، بل في البنية الزمنية للمقطع الصوتي.

3. خصائص الحروف الحلقية والمفخمة

تتميز العربية بأصوات تخرج من أقصى الحلق (كالعين والحاء) وأصوات مفخمة (كالصاد والضاد).

- **المشكلة:** هذه الأصوات تؤثر صوتياً على الحروف المجاورة لها (Co-articulation). الحرف المرقق قد ينطق بشكل مختلف إذا جاور حرفاً مفخماً.
- **مثال:** حرف التاء في **(تاب)** يختلف في تردده الصوتي عن التاء في **(طار)** (حيث تتأثر التاء بتفخيم الطاء في بعض اللهجات أو القراءات). هذا يتطلب من الحاسوب نماذج صوتية دقيقة جداً لتمييز هذه الترددات.

4. التقاء الساكنين وظواهر الحذف والإضافة

هناك قواعد صوتية تحكم نطق الكلمات عند وصلها ببعضها، وهي قواعد لا تظهر في الكتابة العادية.

- **المشكلة:** "همزة الوصل" واللام الشمسية والقمرية.
- **مثال: (والشمس).**
  - كتابياً: و - ا - ل - ش - م - س.
  - صوتياً: /waʃ-ʃams/.
  - هنا سقطت الألف واللام تماماً في النطق، وتم تضعيف الشين. الحاسوب يجب أن يمتلك "قواعد تحويل النص إلى صوت" (Grapheme-to-Phoneme) متطورة جداً لتجاوز هذا التناقض.

جدول يلخص تحديات التوصيف الحاسوبي

التحدي	الوصف	التأثير الحاسوبي
غياب الحركات	النص يفتقر للتمثيل الصوتي للفاولز (Short Vowels).	صعوبة في تحديد الوزن الصوتي للكلمة.
التشابه المورفولوجي	كلمات متطابقة رسماً مختلفة نطقاً.	حاجة ماسة للمحللات الصرفية الذكية.
اللام الشمسية	حرف يكتب ولا ينطق ويؤثر فيما بعده.	خطأ في تقطيع المقاطع الصوتية (Syllabification).
النبر والتنغيم	تحديد موضع الضغط في الكلمة.	إنتاج كلام آلي يبدو "روبوتياً" وغير طبيعي.

خوارزميات التشكيل الآلي (Auto-Diacritization)

بما أن النص العربي "هيكل عظمي" بدون حركات، فإن الخطوة الأولى للحاسوب هي "كساء" هذا الهيكل بالحركات بناءً على السياق.

- **التقنية:** تستخدم حالياً الشبكات العصبية العميقة مثل **RNN** أو **Transformers** (مثل نموذج BERT العربي).
- **الآلية:** يقوم النظام بتحليل الجملة بالكامل لتقدير الموقع الإعرابي.
- **مثال:** في جملة "كتب الطالب الدرس"، يفهم النظام أن "كتب" فعل ماضٍ مبني على الفتح لأن ما بعدها فاعل مرفوع، فيقوم بتحويلها برمجياً إلى kataba.

2. قواعد تحويل الحرف إلى فونيم (G2P - Grapheme to Phoneme)

هذه هي المرحلة التي يتم فيها تحويل النص "المشكل" إلى رموز صوتية عالمية (مثل IPA). هنا تبرز مشكلة القواعد الصوتية الصارمة:

- **التعامل مع اللام الشمسية:** برمجياً، يتم وضع قاعدة تقول: *إذا جاء حرف من (ت، ث، د، ذ...) بعد "ال"، احذف اللام وضاعف الحرف التالي.*
- **التعامل مع التنوين:** التنوين يكتب كحركة مضاعفة لكنه ينطق كحرف "نون" ساكنة. الحاسوب يحتاج لتحويل ـٌـ إلى [n].

3. النمذجة الصوتية (Acoustic Modeling)

بعد تحديد الأصوات (الفونيمات)، تأتي مرحلة تحويلها إلى موجات.

- **المشكلة الحاسوبية:** أصوات مثل "الضاد" و"الظاء" و"العين" لها بصمات ترددية معقدة جداً في السبيكتروجرام (Spectrogram).
- **الحل:** يتم تدريب النماذج على آلاف الساعات من النطق البشري لتعلم كيفية محاكاة مخارج الحروف بدقة، وضبط ما يسمى بـ **Co-articulation** (تأثير الحروف المفخمة على جيرانها المرققة).

مقارنة بين التوصيف التقليدي والحاسوبي

الميزة	التوصيف اللساني (البشري)	التوصيف الحاسوبي (الآلي)
السرعة	بطيء (يعتمد على التحليل اليدوي)	فائق السرعة (ملايين الكلمات في الثانية)
الدقة	عالية جداً في فهم المعنى	تعتمد على قوة التدريب والبيانات(Data)
التعامل مع اللهجات	مرن بالفطرة	يواجه صعوبة كبيرة بسبب نقص البيانات

لنطبق ذلك عملياً. سنقوم بتحويل جملة عربية من "نص مكتوب" إلى "وحدات صوتية (Phonemes) "وتقطيعها إلى "مقاطع عروضية(Syllables) "، وهو ما يفعله الحاسوب تماماً في أنظمة تحويل النص إلى كلام.(TTS)

الجملة المختارة" :**الشَّمْسُ طَالِعَةٌ"**

المرحلة الأولى: المعالجة النصية(Text Normalization)

الحاسوب أولاً يحول النص إلى صورته الصوتية الخام (ما ينطق يكتب):

1. **فك التضعيف (الشدة) :**الشَّ <- شْ شَ
2. **معالجة اللام الشمسية :**حذف (ال) التعريف والاحتفاظ بالشين المشددة.
3. **تحويل التنوين :**ةٌ <- تُنْ.

الجملة بالرسم الصوتي التقريبي:

أشْ - شَمْ - سُ - طَا - لِ - عَ - تُنْ

المرحلة الثانية: التقطيع المقطعي(Syllabification)

هنا يصنف الحاسوب الأصوات إلى (C) لحرف ساكن و (V) لحركة قصيرة و (VV) لحركة طويلة (مد).

الكلمة	المقطع الصوتي	نوع المقطع(Structure)	الرمز الصوتي(IPA)
أشْ	CV + C	مقطع مغلق	/ʔaʃ/
شَمْ	CV + C	مقطع مغلق	/ʃam/
سُ	CV	مقطع مفتوح	/su/
طَا	CVV	مقطع مفتوح طويل	/tˤaː/
لِ	CV	مقطع مفتوح	/li/
عَ	CV	مقطع مفتوح	/ʔa/
تُنْ	CV + C	مقطع مغلق	/tun/

المرحلة الثالثة: التحديات البرمجية أثناء التطبيق

عند كتابة كود (Code) لتنفيذ ما سبق، يواجه المبرمج القواعد التالية:

- **قاعدة الابتداء:** لا يمكن للمقطع الصوتي في العربية أن يبدأ بسكون، لذا يضيف الحاسوب "همزة وصل" تخيلية في البداية عند نطق "الشمس" منفردة.
- **تأثير التفخيم (Emphasis Propagation):** عند نطق مقطع **)طَا(**، يجب على النظام الحاسوبي أن يرفع درجة "التردد" ليس فقط لحرف الطاء، بل وللألف التي تليها، لأنها تتبعها في التفخيم، وإلا بدا الصوت آلياً ومنفصلاً.
- **الوقف:** إذا كانت الجملة في نهاية الفقرة، يجب على الحاسوب تحويل (تُنْ) إلى (هْ) ساكنة أو حذف الحركة تماماً (السكون عند الوقف).

كيف يرى الحاسوب هذه العملية (نموذج مبسط بالكود)

إذا كنا نصمم خوارزمية بسيطة، ستكون الخطوات المنطقية كالتالي:

Python

```
def phonetic_processor(text):
    # 1. استبدال اللام الشمسية
    text = apply_sun_letters_rule(text)
    # 2. تحويل التنوين لنون ساكنة
    text = convert_tanween_to_noun(text)
    # 3. فك الشدة إلى حرفين
    text = expand_shadda(text)
    return text

#المدخل: "الشمسُ"
#المخرج الصوتي: "أشْشَمْسُ"
```