Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences Volume (6), Issue (1) November (2024)

ISSN: 2957-3874 (Print)
Journal of Al-Farabi for Humanity Sciences (JFHS)
https://www.iasj.net/iasj/journal/419/issues
مجلة الفارابي للعلوم الإنسانية تصدرها كلية الفارابي الجامعة

التعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية الذكي لتلخيص الصفحة البصرية العربية

م. د رقية علي حمزة جامعة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات
Dr.Ruqaya.Ali@Uoitc.Edu.Iq
ا. م. د مازن هيثم رزوقي-جامعة تكنولوجيا المعلومات والاتصالات
Dr.mazin_haithem@uoitc.edu.iq

الملخص:

يتم ملء التعرف البصري على الأحرف (OCR) اصبح اكثر انتشارا بعد السحر الواسع للتعلم العميق ومعالجة الصور .اعتمادًا على كمية بيانات القطار، يمكن أن يؤدي التعرف الضوئي على الحروف (OCR)القائم على التعلم العميق إلى الموثوقية المتوقعة .تركز هذه الورقة على الخطوة التالية بعد تطبيق التعرف الضوئي على الحروف على مجموعة البيانات المكتوبة بخط اليد باللغة العربية .لقد حرص على تلخيص نتائج التعرف الضوئي على الحروف من خلال استخدام تقنية الترابط .تم استخدام ثلاث خوارزميات للتعرف على النص العربي وهي :الشبكة العصبية التلافيفية (CNN)، الشبكة العصبية المتكررة ذات الذاكرة الطويلة والقصيرة (RNN–LSTM)كما تم استخدام نموذج الماكوف المخفي (HMM)كخوارزمية ثالثة للتعرف على النص العربي .أظهرت النتائج أن LSTM RNN– تتفوق على الخوارزميات الأخرى من خلال إنتاج دقة التعرف بنسبة 92٪.

Abstract

Optical character recognition (OCR) is populated after the wide enchantment on the deep learning and image processing. Depending on the amount of train data, deep learning based OCR can yield the expected reliability. This paper focuses on step ahead after applying the OCR into Arabic hand written dataset. It dose keen on summarization of the OCR results through the use of association rues technology. Three algorithms were deployed to recognize the Arabic text namely: Convolutional neural network (CNN), Recurrent with long short memory neural network (RNN-LSTM). Hidden makov Model (HMM) is also used as third algorithm for Arabic text recognition. Results shown that RNN-LSTM is outperformed over the other algorithms by producing accuracy of recognition of 92%.

الكلمات المفتاحيةCNN :، RNN،LSTM ، HMM، التعرف الضوئي على الحروف، العربية .تلخيص.

Keywords: CNN, RNN, LSTM, HMM, OCR, Arabic. Summarization.

مقدمة

يتم شرح خصائص اللغة العربية وأنواع نظام التعرف الضوئي على الحروف ومراحله ومقاييس التقييم في .[1]كما أنه يفحص مجموعات البيانات الموجودة ويقارن دقة التعرف على الطرق المختلفة، بما في ذلك الأنظمة التجارية والمفتوحة المصدر .تركز معظم الدراسات على الحروف أو الكلمات المعزولة .يتم اختبار البرامج النصية على مستوى الصفحة بشكل أقل .تحتاج أنظمة التعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية إلى التحسين، خاصة في التعرف على النص المطبوع، حيث تحقق معظمها دقة أقل من .75%يوجد عدد قليل من أنظمة التعرف الضوئي على الحروف عبر الإنترنت .يمثل التعرف على الأحرف العربية المكتوبة بخط اليد تحديًا بسبب اختلافات أسلوب الكتابة وتشابه الأحرف .يقترح هذا البحث 12معمارية لشبكة CNN، مستمدة من نماذج VGG، وResNet، وInception، للتعرف على الحروف العربية المكتوبة بخط اليد .وأظهرت الاختبارات التي أجريت على ثلاث مجموعات بيانات تحسينات كبيرة في الدقة .وكانت أفضل النتائج 93.05%، 98.30%، و 96.88%على مجموعات البيانات HIJJA، AHCD، و AIA9K.زيادة البيانات تعزيز دقة النموذج .[2]

يعد تطوير التعرف الضوئي على الحروف للنص العربي المطبوع أمرًا صعبًا نظرًا لكتابته المتصلة .تقترح هذه الورقة تقنية التعرف الضوئي على الحروف (OCR)القائمة على التجزئة والمستقلة عن الخط .ويستخدم خوارزمية تجزئة الأحرف المكونة من ثلاث خطوات والشبكات العصبية التلافيفية للتعرف عليها .تم اختبار التجزئة على مجموعة بيانات APTID-MF، وحققت دقة التجزئة بنسبة 95%، ووصل التعرف إلى .99.97%حقق النهج الشامل دقة بنسبة 95%دون الحاجة إلى التعرف على نوع الخط .[3]يعد التعرف على لوحة الترخيص أمرًا بالغ الأهمية لأنظمة النقل الذكية والمدن الذكية .يستخدم هذا التصميم المعالجة المسبقة والتجزئة والتعرف على الأحرف لتحديد اللوحات .طرق الكشف عن الحواف والطرق الكنتورية تحدد موقع اللوحات .وأظهر الاختبار على 200صورة للوحات مصرية دقة تصل إلى .93%تم تنفيذ نموذج أولي باستخدام كاميرات ESP32وRaspberry Pi، مع قاعدة بيانات وموقع ويب للبحث عن اللوحة .[4]

يعد تجزئة الأحرف أمرًا حيويًا في أنظمة التعرف الضوئي على الحروف العربية .يقدم هذا البحث خوارزمية التجزئة المستقلة عن الخط للنص العربي المطبوع .ويستخدم الإسقاط الرأسي والميزات الإحصائية للتمييز بين فجوات الكلمات .تم اختباره على 1800سطر من مجموعة بيانات APTI، وحقق دقة بنسبة 97.7%في تجزئة الكلمات و 97.51%في تجزئة الأحرف .[5]

يعد التعرف على النص العربي في مقاطع الفيديو أمرًا صعبًا ولم يتم استكشافه بعد .تعمل هذه الدراسة على تعزيز التعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية القائم على LSTMمع نماذج اللغة المتكررة .تم استخدام نماذج RNNالبسيطة والحد الأقصى للإنتروبيا .تعمل خوارزمية البحث عن الشعاع المعدلة على تحسين التعرف .أظهر الاختبار تحسنًا بنسبة 16%في معدل التعرف على الكلمات مقارنة بالخط الأساسي وتفوق في أداء التعرف الضوئي على الحروف التجاري بنسبة .[6] 36%يعد استخراج سطر النص من صور المستندات أمرًا بالغ الأهمية في التعرف الضوئي على الحروف .تقدم هذه الورقة طريقة قوية للنص العربي .ويستخدم خطوط الأساس، وملفات تعريف الإسقاط، ونهجًا من أعلى إلى أسفل .أظهرت الاختبارات أنها تفوقت في الأداء على طريقتين أساسيتين، مع معدل خطأ بنسبة 3%في النص بدون علامات التشكيل و 11%مع علامات التشكيل .كان متوسط وقت التشغيل 0.087ثانية لكل صورة مستند .[7]

يواجه التعرف الضوئي على الحروف (OCR)القائم على الذكاء الاصطناعي تحديات في إعادة توحيد الأحرف في نص متماسك .تقدم هذه الورقة خوارزمية الكشف عن الأحرف المجاورة (ACD)لنتائج التعرف الضوئي على الحروف (OCR)بعد المعالجة .يستخدم ACD طريقة المسح الرباعي لتجزئة الخط .أظهرت الاختبارات دقة ترتيب القراءة ومتانته بنسبة 98.6%في مواجهة الأعمدة المنحرفة .وقد تم دمجه مع نماذج التعرف الضوئي على الحروف (OCR)، وقد حقق دقة بنسبة .[8] 97.7%من الصعب التعرف على النص العربي بخطوط وأحجام مختلفة .تقترح هذه الورقة طريقة عشوائية باستخدام نماذج الخليط الغاوسي لتحديد الخط والحجم .تم اختبار ثلاثة أنظمة :الخط والحجم والتعرف المدمج .أدى النظام المتتالي إلى تحسين التعرف على الكلمات بنسبة 23%مقارنة بالنظام العالمي في قاعدة بيانات APTI [9]. ArzEn-MultiGenreهي مجموعة بيانات متوازية للنصوص العربية المصرية وترجماتها الإنجليزية .ويشمل كلمات الأغاني والروايات وترجمات التلفزيون .مع وجود 25,557زوجًا مقطعيًا، يعد هذا مفيدًا لقياس نماذج الترجمة الآلية ودراسات الترجمة .مجموعة البيانات فريدة من نوعها في أنواعها وجودة الترجمة المتخصصة .[10]

هناك حاجة متزايدة لتصنيف الوثائق العربية .تهدف هذه الدراسة إلى تحسين نماذج المحولات (AraBERT، GigaBERT، XLM-RoBERTa)لتصنيف النصوص العربية .باستخدام مجموعة بيانات متوازنة مكونة من 22,741نصًا، حققت GigaBERT أعلى دقة بنسبة 98%.يمكن لهذه النماذج أن تساعد في التصنيف الآلي للوزارات .[11]يقدم [12]إمكانية التعرف على النص العربي متعدد الخطوط باستخدام HMMs.يتكيف مع تقنية النافذة المنزلقة لاستخراج الميزات .يتضمن الأسلوب تحديد الخط متبوعًا بتدريب محدد للتعرف على الخطوط . وأظهرت الاختبارات التي أجريت على النص العربي المطبوع فعاليته وقدرته على التكيف مع النصوص الأخرى .نظام التعرف الضوئي على الحروف (OCR)للكتابة اليدوية العربية قابل للتطوير باستخدام الحوسبة السحابية .تطبق تقنيات مثل Hadoopو MapReduce و Cascadingخوارزمية FastDTW المتوازية .أثبتت التجارب التي أجريت على Amazon EC2وS3مع مجموعة بيانات كبيرة من قاعدة بيانات IFN/ENITكفاءتها .[13]تؤدي زيادة عدد السكان وملكية المركبات إلى زيادة الكثافة المرورية والازدحام .العدد المتزايد من المركبات يتجاوز سعة الطريق .وللحد من الازدحام، يقوم نظام بتصنيف السيارات لأيام محددة بناءً على لوحات الترخيص) فردية/زوجية .(يستخدم نظام ANPRالمقترح معالجة الصور والتعرف الضوئي على الحروف (OCR)للتعرف على لوحات أرقام السيارات .يحقق دقة بنسبة 83.3%على الرغم من اختلافات التنسيق والخلفية والخط .[14]تقدم TinyMLنماذج خفيفة الوزن ومنخفضة الطاقة للأجهزة المتطورة .تقدم

هذه الدراسة نموذج TinyMLللتعرف على إيماءات اليد العربية في الهواء، مع التركيز على الأرقام العربية .باستخدام بيانات مقياس التسارع والجيروسكوب، فإنه يحقق دقة بنسبة 93.8%مع شبكات CNN، مما يجعله مناسبًا للنشر في الوقت الفعلي .[15].

لقد تجاهلت طرق التعرف على الخطوط العربية السابقة تفرد النص .تقدم هذه الدراسة طريقة جديدة تستخدم علامات التشكيل للتعرف على الخطوط .تحقق خوارزميتان للتجزئة، ملء الفيضان والتجميع، معدل التعرف بنسبة 98.73%على قاعدة بيانات مكونة من 10خطوط عربية شائعة .يتميز هذا النهج بالكفاءة الحسابية وسهولة التكامل مع أنظمة التعرف الضوئي على الحروف .[16]اختبارات CAPTCHA تميز البشر عن الروبوتات .

تقدم هذه الدراسة اختبار CAPTCHAالتفاعلي القائم على النص مع تصفية الهجمات لتحديد مستويات التشويه والتحديات، وتحسين الأمان .تم تنفيذ اختبار CAPTCHAتفاعلي مكتوب بخط اليد باللغة العربية، مما يُظهر سهولة الاستخدام العالية والمقاومة لهجمات الروبوت المعدة مسبقًا .[17]تواجه أنظمة التعرف الضوئي على الحروف العربية تحديات مع النصوص المكتوبة بخط متصل .تقترح هذه الدراسة تقنية تجزئة تعتمد على التعرف على الحروف العربية للتعرف الضوئي على الحروف، بما في ذلك خوارزمية جديدة لتجزئة الكلمات للكلمات المتداخلة أفقيًا .يحقق النظام دقة التعرف بنسبة 90%عند 20حرفًا/ثانية .[18]يمكن للصور التي تحتوي على نص مضمن على الشبكات الاجتماعية أن تنشر محتوى سامًا .أنظمة التعرف الضوئي على الحروف الحالية عرضة للصور النصية المتعارضة .تقترح هذه الدراسة خوارزمية ما بعد التصحيح للتعرف الضوئي على الحروف، مما يؤدي إلى تحسين المتانة بنسبة 10%في مواجهة الصور النصية المتعارضة والتفوق في الأداء على خمسة مدققين إملائيين .يُظهر نظام التعرف الضوئي على الحروف (OCR)المدرك للخصم تحسينات كبيرة في الأداء .[19].

رقمنة الوثائق التاريخية تحافظ على المحتوى .ومع ذلك، فإن نتائج التعرف على النص المكتوب بخط اليد باللغة العربية غير مرضية . تقدم هذه الدراسة طريقة تعتمد على الكفاف لاستخراج الكلمات الفرعية وقاعدة بيانات MOJ-DB، التي تحتوي على 560.000كلمة فرعية من كتب القرنين السابع عشر والسادس عشر .تُظهر الطريقة أداءً عاليًا، وتدعم قاعدة البيانات تطبيقات بحثية مختلفة .[20].

يقوم هذا النظام بترجمة النص العربي في الصور إلى اللغة الإنجليزية .ويشمل الكشف عن النص والتعرف على الأحرف والترجمة الآلية . باستخدام GBTو SVMوالمعرفة السابقة، تتحسن درجة F1لاكتشاف النص من 78.95%إلى .87.05%يعمل النظام على تحسين مخرجات التعرف الضوئي على الحروف وجودة الترجمة، مما يحقق تحسينات كبيرة في دقة التعرف على الكلمات ودرجات .[21] BLEU تتفوق شبكات CNNالعميقة مثل AlexNet و GoogleNet في رؤية الكمبيوتر .تقدم هذه الدراسة شبكات التعرف الضوئي على الحروف (OCR-Nets)، وهي أنواع مختلفة من هذه الشبكات، للتعرف على الحروف الأردية المكتوبة بخط اليد .تظهر التجارب التي أجريت على مجموعة بيانات متكاملة مكاسب كبيرة في الأداء، حيث حقق OCR-AlexNetمعدل نجاح قدره 96.3%وحقق OCR-GoogleNet 94.7% [22].استخدم العمل السابق في التعرف على الكتابة اليدوية باللغة العربية التصويت والمعلومات السياقية .تضيف هذه الدراسة معالجًا لاحقاً لخوارزمية الألغاز لتحسين التعرف، خاصة بالنسبة للأحرف الغامضة .تُظهر الطريقة، التي تم اختبارها على قاعدة بيانات IFN/ENIT، نتائج مشجعة وتعزز معدلات التصنيف .[23].

لقد طور التعلم العميق البرمجة اللغوية العصبية (NLP)ومهام الحوسبة الاجتماعية. يستعرض هذا الاستطلاع تقنيات التعلم عن بعد في البرمجة اللغوية العصبية العربية (ANLP)، مع ملاحظة وجود فجوة بين أدب البرمجة اللغوية العصبية (ANLP)والأدب الإنجليزي في البرمجة اللغوية العصبية .ركزت الأعمال المبكرة على التعرف الضوئي على الحروف، بينما تناولت الدراسات الحديثة تحليل المشاعر، والترجمة الآلية، والتمييز .يوجه هذا الاستطلاع مجتمع ANLPلسد فجوة الأدبيات .[24]يتعرف هذا النظام على النص العربي المتصل عن طريق تحليل صور المستندات إلى أسطر نصية .فهو يستخرج الميزات الإحصائية من نافذة منزلقة ويستخدم HTKللتعرف عليها .ومن خلال تطبيقه على مجموعة مكونة من أكثر من 600 ورقة نصية باللغة العربية مكتوبة بخطوط متعددة، يُظهر النظام أداءً فعالاً .[25].

تم توضيح ملخص لدراسات الأدب في الجدول .1

الجدول :1مسح الأدب.

السلبيات	الايجابيات	النتائج	البيانات	الطرائق	الهدف من الدراسة	يذاكر

عدد قليل من الدراسات حول البرامج النصية على مستوى الصفحة، ومعظمها غير متصل بالتعرف الضوئي على الحروف	مراجعة شاملة، تسلط الضوء على الوضع الحالي	أبرز النقاط التي تحتاج إلى تحسين، دقة الأنظمة التجارية <٧٥%	مجموعة البيانات المختلفة	مراجعة الأدبيات، المعالجة المسبقة، التجزئة، مقارنة الأساليب	مراجعة التطورات في التعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية	[1]
لا يعالج اختلافات شكل الشخصية	تحسن كبير في الدقة وزيادة فعالة في البيانات	افضل النتائج: ٩٣.٠٥٪، ٩٨.٣٠٪، ٩٦.٨٨%	HIJJA, AHCD, AIA9K	12معمارية لشبكة CNN مستمدة من VGG و ResNet و Inception	اقتراح معماريات CNNللحروف العربية المكتوبة بخط اليد	[2]
التركيز على النص المطبوع، وليس المكتوب بخط اليد	دقة عالية، لا حاجة للتعرف على نوع الخط	دقة التقسيم: ٩٥٪، دقة التعرف: ٩٩.٩٧%	APTID–MF	يعتمد على التجزئة، ومستقل عن الخط، وشبكة CNN للتعرف عليها	تطوير تقنية التعرف الضوئي على الحروف (OCR)للنص العربي المطبوع	[3]
يقتصر على اللوحات المصرية، مجموعة بيانات صغيرة	تم تنفيذ النموذج الأولي بدقة عالية	دقة التحديد: ٩٣%	200صورة لوحة سيارة مصرية	المعالجة المسبقة، التجزئة، التعرف على الحروف	التعرف على لوحة الترخيص	[4]
التركيز على النص المطبوع فقط	مستقل عن الخط، ودقة عالية	دقة تجزئة الكلمات: ٩٧.٧٪، تجزئة الأحرف: ٩٧.٥١%	APTI	الإسقاط الرأسي، والميزات الإحصائية	تجزئة الأحرف للتعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية	[5]
التعقيد الحسابي العالي	تحسن كبير، طريقة قوية	تحسن بنسبة ١٦٪ في WRR، ويتفوق على التعرف الضوئي على الحروف	محتوى البث التلفزيوني	نماذج لغة LSTM، RNN، بحث الشعاع المعدل	تحسين التعرف على النص العربي في مقاطع الفيديو	[6]

		التجاري بنسبة ٣٦%				
أقل فعالية مع علامات التشكيل	سريع وفعال ويتعامل مع التداخل	معدل الخطأ: ٣٪ (بدون علامات التشكيل)، ١١٪ (مع علامات التشكيل)، وقت التشغيل: ٠.٠٨٧ ثانية/صورة	مجموعة البيانات التي تم جمعها	خطوط الأساس، وملامح الإسقاط، والنهج من أعلى إلى أسفل	استخراج أسطر النص من صور الوثيقة	[7]
التعقيد في التكامل	دقة عالية في ترتيب القراءة وقوية	درجة القراءة الدقيقة: ٩٨.٦٪، الدقة التفصيلية: ٩٧.٧%	نتائج التعرف الضوئي على الحروف (OCR)على أرض الواقع	كشف الأحرف المجاورة (ACD)	تسهيل تحويل النص الرقمي بعد التعرف الضوئي على الحروف	[8]
التعقيد في التعامل مع الخطوط والأحجام المتعددة	تحديد الخط الفعال، وتحسين كبير	يعمل النظام المتتالي على تحسين WRR بنسبة ٢٣٪	APTI	النهج العشوائي، sGMM	تحديد الخط والحجم للنص العربي	[9]
تقتصر على أنواع محددة	أنواع فريدة من نوعها، ترجمة الخبراء	مفيدة لدراسات المقارنة والترجمة	25.557 زوجًا مقطعيًا من النصوص المصرية العربية والإنجليزية	الترجمة اليدوية والمحاذاة	إنشاء مجموعة بيانات متوازية للترجمة الآلية	[10]
تعتمد على نماذج المحولات	دقة عالية، تساعد في التصنيف الآلي	تحقق GigaBERT دقة تصل إلى ٩٨%	22,741 نص عربي	نماذج محولات الضبط الدقيق	تصنيف المستندات العربية باستخدام المحولات	[11]
التركيز على النص المطبوع فقط	قابلة للتكيف مع النصوص الأخرى، وفعالية عالية	التعرف الفعال على الخطوط المختلطة	قاعدتا بيانات نصية عربية مطبوعة	نافذة منزلقة، التكيفHMM	التعرف على النص العربي متعدد الخطوط باستخدام HMMs	[12]

الاعتماد على البنية التحتية السحابية	قابلة للتطوير، ومعتمدة على السحابة	التنفيذ الفعال	قاعدة بيانات IFN/ENIT	Hadoop، MapReduce، Cascading، FastDTW المتوازي	الكتابة اليدوية العربية القابلة للتطوير التعرف الضوئي على الحروف (OCR).	[13]
يختلف باختلاف تنسيق لوحة الترخيص والخلفية والخطوط	فعالة في تقليل الازدحام، ودقة عالية	دقة ٨٣.٣%	غير محدد	معالجة الصور، التعرف الضوئي على الحروف، مكتبة Tesseract	تقليل الازدحام المروري من خلال تصنيف السيارات على أساس لوحات الترخيص	[14]
يقتصر على إيماءات الأرقام العربية	مناسبة للنشر في الوقت الحقيقي، ودقة عالية	دقة ٩٣.٨%	غير محدد	بنية تدفق البيانات ومقياس التسارع والجيروسكوب data, CNNs	التعرف على إيماءات اليد العربية باستخدام TinyMl	[15]
يقتصر على الخطوط الشائعة، القائمة على علامات التشكيل	كفاءة حسابية، وتكامل التعرف الضوئي على الحروف بسهولة	معدل التعرف ٩٨.٧٣%	قاعدة بيانات تضم ١٠ خطوط عربية مشهورة	خوارزميات تعبئة الفيضان والتجميع	التعرف على الخطوط العربية باستخدام علامات التشكيل	[16]
خاص بـ CAPTCHA المكتوبة بخط اليد باللغة العربية	أمان عالي وسهولة الاستخدام	سهولة الاستخدام العالية، ومقاومة هجمات الروبوت	غير محدد	اختبار CAPTCHA التفاعلي القائم على النص، وتصفية الهجمات	تحسين أمان اختبار CAPTCHA من خلال تصفية الهجمات	[17]
خاص بالنصوص المكتوبة	تجزئة فعالة ودقة عالية	دقة ٩٠٪، ٢٠ حرفًا في الثانية	غير محدد	التجزئة القائمة على الاعتراف، خوارزمية تجزئة الكلمات الجديدة	التغلب على مشكلات التجزئة في التعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية	[18]

عرضة لهجمات معادية جديدة	يتفوق على المدققين الإملائيين، مما يؤدي إلى تحسن كبير في الأداء	تحسن بنسبة ١٠٪ في المتانة	غير محدد	خوارزمية ما بعد التصحيح للتعرف الضوئي على الحروف (OCR).	تحسين قوة التعرف الضوئي على الحروف (OCR)ضد الصور النصية المتعارضة	[19]
يقتصر على الوثائق التاريخية	يدعم التطبيقات البحثية المختلفة	أداء عالي ونتائج متسقة	قاعدة بيانات MOJ-DB (560.000 كلمة فرعية من كتب القرن السابع عشر/السادس عشر(	استخراج الكلمات الفرعية على أساس كفاف	رقمنة والتعرف على النص التاريخي المكتوب بخط اليد باللغة العربية	[20]
خاص بالترجمة من العربية إلى الإنجليزية	تحسينات كبيرة في الاعتراف والترجمة	تحسين درجة F1 (78.95%إلى ٨٧.٠٥٪)، درجة BLEU (18.70إلى ٣٣.٤٧)	غير محدد	اكتشاف النص (GBT، (SVM، التعرف الضوئي على الحروف، تصحيح الأخطاء، نموذج لغة بيجرام	ترجمة النص العربي في الصور إلى الإنجليزية	[21]
يقتصر على الأحرف الأردية	الأداء العالي، ومكاسب كبيرة	نسبة النجاح ٩٦.٣٪ (أليكس نت)، ٩٤.٧٪ (جوجل نت(	مجموعة بيانات متكاملة، مجموعة بيانات تم إنشاؤها يدويًا	نقل التعلم، OCR-AlexNet و-OCR GoogleNet	التعرف على الحروف الأردية المكتوبة بخط اليد باستخدام CNNs	[22]
خاصة باللغة العربية المكتوبة بخط اليد	فعال للشخصيات الغامضة، نتائج مشجعة	معدلات التصنيف المحسنة	قاعدة بيانات IFN/ENIt	مصنفSVM ، معالج ما بعد خوارزمية اللغز	تحسين التعرف على الكتابة اليدوية باللغة العربية	[23]
تطبيقات عملية محدودة	يرشد مجتمع ANLP، ويعالج الفجوة الأدبية	يحدد الثغرات في أدبيات ANLp	غير قابل للتطبيق	مراجعة الأوراق المنشورة	دراسة استقصائية عن تقنيات DL	[24]

					للبرمجة اللغوية العصبية باللغة العربية	
محددة للتعرف على النص مخطوطة	مجموعة أدوات محمولة، خطوط متعددة	الاداء الفعال	مجموعة مكونة من أكثر من ٦٠٠ ورقة نصية باللغة العربية مكتوبة على الآلة الكاتبة	استخراج الميزات، مجموعة أدوات HTK	التعرف على النص العربي المخطوط	[25]

العمل المقترح

تعتبر اللغة العربية من أكبر اللغات من حيث القواعد والمفردات .بالنسبة للتعرف الضوئي على الحروف المكتوب بخط اليد باللغة العربية، تبرز ثلاث خوارزميات بارزة :الشبكات العصبية التلافيفية (CNNs)، والشبكات العصبية المتكررة ذات الذاكرة الطويلة قصيرة المدى (RNN–LSTM)، ونماذج ماركوف المخفية .(HMMs)تتمتع شبكات CNNبالمهارة في التقاط السمات والأنماط المكانية داخل الصور، مما يجعلها فعالة للغاية في التعرف على الأحرف الفردية ومكونات الأحرف الفرعية في النص العربي .إنها تستفيد من الطبقات التلافيفية لاستخراج الميزات وتجميع الطبقات لتقليل الأبعاد، وتبلغ ذروتها في طبقة softmaxللتصنيف .من ناحية أخرى، تتفوق RNN–LSTMsفي التعامل مع البيانات المتسلسلة نظرًا لقدرتها على الحفاظ على السياق عبر تسلسلات طويلة.

لقد أدى وجود تكنولوجيا الكمبيوتر إلى تبسيط مهمة محترفي اللغة بما في ذلك قطاعات الأعمال والإدارة .وهي مفيدة بشكل خاص للتعرف على الكتابة اليدوية باللغة العربية، والتي تعتمد على الحروف المتصلة والسياق، من خلال نمذجة التبعيات بين الأحرف المتعاقبة . تعمل LSTMs، وهي أحد أشكال شبكات RNN، على تخفيف مشكلة التدرج المتلاشي، مما يسمح للشبكة بتعلم التبعيات طويلة المدى بشكل أكثر فعالية .وأخيرا، تقدم HMMsنهجا احتماليا لنمذجة البيانات التسلسلية.

ويتطلب الأمر اعتماد رؤية حاسوبية لتحويل النص التقليدي إلى نص رقمي في السيناريوهات الحالية .وهي مناسبة تمامًا للتعرف الضوئي على الحروف المكتوبة بخط اليد باللغة العربية نظرًا لقدرتها على التقاط الطبيعة العشوائية للكتابة اليدوية والتنوعات المعتمدة على السياق في أشكال الأحرف .تستخدم HMMsالحالات لتمثيل الأحرف أو مكونات الأحرف الفرعية، مع احتمالات الانتقال والانبعاث لنمذجة التبعيات التسلسلية والميزات المرصودة .تتمتع كل من هذه الخوارزميات بنقاط قوتها :شبكات CNNلاستخراج الميزات المكانية، و RNN–LSTM للنمذجة التسلسلية، و HMMsللتعامل الاحتمالي مع تقلبات الكتابة اليدوية، مما يوفر بشكل جماعي حلولاً قوية للتعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية المكتوبة بخط اليد.

مجموعة البيانات

تُستخدم مجموعة البيانات المكتوبة بخط اليد العربية [26]لتدريب النماذج، ومجموعة البيانات هذه عبارة عن مجموعة من صور الأبجديات العربية .الحروف العربية لها ثلاثة أشكال، إما في أول الكلمة، وفي وسط الكلمة، وفي آخر الكلمة .شكل الحرف الأبجدي أمر حيوي للتعرف على الرسالة .مع العلم أن أشكال الحرف الثلاثة تختلف في الرؤية حسب موقعه في الكلمة.

سي إن إن

إحدى تقنيات تعلم الصور الشائعة هي CNNمن خلال أخذ مدخلات متعددة الأبعاد .تتمتع CNNببنية مميزة تتميز بالطبقات التلافيفية، وطبقات التجميع، والطبقات المتصلة بالكامل .الطبقات التلافيفية هي العمود الفقري لشبكات CNN، حيث تنزلق المرشحات)أو النواة (فوق الصورة المدخلة لاكتشاف الميزات المختلفة مثل الحواف والأنسجة والأشكال .تتبع هذه الطبقات وظائف التنشيط مثل) ReLUالوحدة الخطية المعدلة (لإدخال اللاخطية في النموذج، مما يمكنه من تعلم الأنماط المعقدة .تعمل طبقات التجميع، عادةً الحد الأقصى للتجميع، على تقليل أبعاد خرائط الميزات مع الاحتفاظ بالمعلومات الأكثر أهمية، مما يساعد في تقليل التعقيد الحسابي ومنع التجهيز الزائد .الطبقات النهائية هي طبقات متصلة بالكامل تعمل كمصنف بناءً على الميزات المستخرجة بواسطة الطبقات التلافيفية والتجميعية، مما يؤدي إلى إخراج التوزيع الاحتمالي على الفئات.

كلما كانت البيانات قوية، كلما كانت نتائج CNNقوية كما هو الحال في أي نموذج للتعلم العميق .يتضمن تطبيق CNNsللتعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية عدة خطوات. أولاً، تتم معالجة الصورة النصية المكتوبة بخط اليد باللغة العربية مسبقًا لتحسين الجودة وتطبيع الأبعاد .يتم بعد ذلك إدخال الصورة المعالجة مسبقًا في شبكة CNN، حيث تستخرج الطبقات التلافيفية الأولية ميزات منخفضة المستوى مثل الخطوط والمنحنيات، والتي تتوفر بكثرة في النص العربي .تلتقط الطبقات اللاحقة أنماطًا أكثر تعقيدًا، مثل أشكال الشخصيات والتنوعات الهيكلية.

على الأرجح، تقوم CNNبإعداد المدخلات كصفوف وأعمدة وتكون قادرة على إنتاج المخرجات في شكل تسميات .نظرًا للطبيعة المتصلة والمتصلة للكتابة اليدوية العربية، يجب على شبكة CNNأن تتعلم بشكل فعال كيفية التمييز بين الأحرف المختلفة والأحرف المركبة .يتم تدريب الشبكة باستخدام مجموعة بيانات مصنفة من صور نصية باللغة العربية، مع تسميات تمثل الأحرف أو الكلمات المقابلة .أثناء التدريب، تقوم CNNبضبط مرشحاتها وأوزانها من خلال الانتشار العكسي لتقليل وظيفة الخسارة، وتحسين دقتها في التعرف على الحروف العربية.

تتناسب دقة إخراج CNNبشكل مباشر مع حجم بيانات الإدخال وخوارزمية التحسين المستخدمة في التدريب .إحدى المزايا الحاسمة لاستخدام شبكات CNNللتعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية هي قدرتها على التعامل مع الاختلافات في أنماط الكتابة اليدوية والخطوط السائدة في النص العربي .يمكن للطبقات التلافيفية أن تتعلم كيفية تعميم هذه الاختلافات، مما يجعل CNNقوية لعينات الكتابة اليدوية المختلفة.

يتم استخدام الإخراج الناتج من نموذج CNNبشكل شائع للتعرف على الكائنات الموجودة داخل الصورة مثل النص والحدث .بالإضافة إلى ذلك، يمكن تطبيق تقنيات زيادة البيانات مثل التدوير والقياس والترجمة أثناء التدريب لزيادة تحسين قدرات تعميم النموذج .بمجرد تدريبها، تستطيع CNNالتعرف بدقة على النص المكتوب بخط اليد باللغة العربية، وتحويله إلى تنسيق يمكن قراءته آليًا، وهو أمر ضروري لمختلف التطبيقات مثل الأرشفة الرقمية، والبحث عن المحتوى، وأنظمة تحويل النص إلى كلام .إن القدرة على استخراج الميزات الهرمية لشبكات CNN تجعلها مناسبة بشكل خاص للمهمة المعقدة للتعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية .وهذا يوفر أداة قوية لتعزيز التفاعل بين الإنسان والحاسوب والحفاظ على الوثائق المكتوبة بخط اليد باللغة العربية.

RNN–LSTM

يتم إجراء التهجين في خوارزميات البرامج لتمكين نطاق من الأداء أفضل من الخوارزمية إذا تم استخدامها بمفردها .تم تصميم RNNمع وحدات LSTMخصيصًا للتعامل مع البيانات التسلسلية، مما يجعلها مناسبة لمهام مثل التعرف على الكتابة اليدوية .يتضمن الهيكل الأساسي لـ RNNاتصالات متكررة تنشئ دورات في الشبكة، مما يسمح باستمرار المعلومات .تتيح هذه الإمكانية لشبكات RNNالتقاط التبعيات الزمنية في البيانات التسلسلية .ومع ذلك، تواجه شبكات RNNالتقليدية تحديات تتعلق بالتبعيات طويلة المدى بسبب مشكلة التدرج المتلاشي.

يمكن تحقيق دقة عالية نسبياً أثناء استخدام النموذج الهجين ويعتمد ذلك على تكوينات التدريب .تعالج LSTMsهذه المشكلة من خلال بنيتها الفريدة، والتي تتضمن خلية ذاكرة وثلاثة أنواع من البوابات :بوابات الإدخال والنسيان والإخراج .تنظم هذه البوابات تدفق المعلومات، مما يسمح لـ LSTMsبالاحتفاظ بالمعلومات ذات الصلة عبر تسلسلات طويلة والتخفيف بشكل فعال من مشكلة التدرج المتلاشي.

النص العربي وخاصة المكتوب بخط اليد معقد في بنيته ويحتاج إلى فهم عميق للحروف .يتضمن تطبيق RNN–LSTMs للتعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية معالجة النص المكتوب بخط اليد كسلسلة من أجزاء الصورة أو ميزاتها .يستفيد النص العربي، المعروف بطبيعته

المتصلة والمتصلة، من إمكانات النمذجة التسلسلية لـ .LSTMsتبدأ العملية بالمعالجة المسبقة للصورة النصية المكتوبة بخط اليد، بما في ذلك التحويل الثنائي وإزالة الضوضاء والتطبيع.

الخطوات الأساسية للتعرف على النص في اللغة العربية هي استهداف مجموعة بيانات الصور المناسبة للحروف .يتم بعد ذلك تقسيم الصورة المعالجة مسبقًا إلى بقع أصغر أو يتم إدخالها في مستخرج الميزات، مثل CNN، لإنتاج سلسلة من ناقلات الميزات .تعمل متجهات الميزات هذه كمدخل لشبكة .RNN–LSTMتقوم وحدات LSTMبمعالجة هذه المدخلات المتسلسلة، والتقاط التبعيات بين أجزاء مختلفة من النص.

بعد اختيار مجموعة البيانات، يجب أن تكون الصورة مشقوقة، وتسمى هذه العملية بالتجزئة حيث يمكن استخراج الحروف .أثناء التدريب، تتعلم شبكة RNN–LSTMكيفية تعيين تسلسل ميزات الإدخال للتسلسل المقابل للأحرف العربية .يتضمن ذلك ضبط الأوزان والتحيزات في الشبكة من خلال الانتشار العكسي عبر الزمن (BPTT)لتقليل وظيفة الخسارة .تعد تقنيات زيادة البيانات ومجموعة البيانات الكبيرة والمتنوعة من عينات النصوص المكتوبة بخط اليد باللغة العربية ضرورية لتحسين قوة النموذج وقدراته على التعميم .يمكن لشبكة RNN–LSTMالمدربة بعد ذلك فك تشفير الميزات التسلسلية من الصور النصية الجديدة المكتوبة بخط اليد .وتتمثل العملية في توقع الحروف أو الكلمات العربية بدقة.

تعتمد مخرجات النموذج الهجين على اختيار خوارزمية التدريب ومرحلة المعالجة المسبقة .إحدى المزايا المهمة لـ RNN–LSTMsفي التعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية هي قدرتها على نمذجة السياق والتبعيات بين الأحرف .تلك العملية التي تعتبر حاسمة للتعرف على النصوص المتصلة والمعقدة .تسمح خلية الذاكرة في LSTMsللشبكة بتذكر الميزات المهمة من وقت سابق في التسلسل، مما يحسن التعرف على الأحرف التي تعتمد على الأحرف السابقة .يعد هذا الفهم السياقي مفيدًا بشكل خاص للغة العربية، حيث يمكن أن يختلف شكل الحرف بناءً على موضعه في الكلمة .من خلال الاستفادة من إمكانات النمذجة التسلسلية لـ LSTMs، توفر شبكات RNN–LSTMنهجًا قويًا .ويمكن اختياره للتعرف بدقة على النص المكتوب بخط اليد باللغة العربية، وتسهيل التطبيقات .يمكن تحسين المزيد من التطبيقات مثل الأرشفة الرقمية ورقمنة المستندات واسترجاع المحتوى.

نظرية الاحتمالية

تعتبر نظرية الاحتمالية إحدى الأدوات القوية المستخدمة لحل العديد من المشكلات المعقدة في العلوم والهندسة .أجهزة HMMsهي نماذج احتمالية تستخدم لتمثيل البيانات التسلسلية، مما يجعلها مناسبة لتطبيقات مثل التعرف الضوئي على الحروف .وهذا ينطبق بشكل خاص على اللغات التي تحتوي على نصوص متصلة مثل اللغة العربية .يتكون HMMمن مجموعة محدودة من الحالات، يرتبط كل منها بتوزيع احتمالي . وتخضع التحولات بين هذه الحالات لمجموعة من الاحتمالات .في سياق التعرف الضوئي على الحروف، يمكن أن تمثل الحالات أحرفًا أو مكونات أحرف مختلفة، والبيانات المرصودة هي ميزات مستخرجة من النص المكتوب بخط اليد.

ويطلق على احتمال وقوع حدث مع شرط ما اسم الاحتمال المشروط .يتضمن تطبيق HMMsعلى التعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية عدة خطوات .أولاً، تتم معالجة الصورة النصية المكتوبة بخط اليد مسبقًا، والتي تتضمن خطوات مثل التحويل الثنائي لتحويل الصورة إلى أبيض وأسود، وإزالة التشويش لتعزيز الوضوح، والتطبيع لتوحيد حجم النص.

تتوفر المزيد من الأمثلة لاستخدام نماذج HMMفي العديد من التطبيقات المتعلقة بتكنولوجيا البيانات .يتم بعد ذلك تقسيم الصورة المعالجة مسبقًا إلى وحدات أصغر، مثل الأحرف أو الأحرف الفرعية .يعد هذا التجزئة أمرًا بالغ الأهمية بالنسبة للنصوص المتصلة مثل اللغة العربية، حيث غالبًا ما تكون الأحرف متصلة .يتبع ذلك استخراج الميزات، حيث يتم تحديد الخصائص المميزة لكل مقطع، مثل الحواف والزوايا والحدود، واستخدامها لإنشاء ناقل ميزة لكل مقطع.

إن وجود علم البيانات مطلوب لحل المشاكل الخفية في البيانات من خلال تحديد العلاقة الداخلية .ناقلات الميزات هذه هي البيانات المرصودة لـ .HMMتم تدريب النموذج باستخدام مجموعة بيانات مصنفة من نص مكتوب بخط اليد باللغة العربية .أثناء التدريب، يتعلم HMMالتوزيعات الاحتمالية لكل حالة)حرف (واحتمالات الانتقال بين الحالات .يتضمن ذلك تقدير احتمالية مراقبة ناقل ميزة معين في ضوء الحالة واحتمال الانتقال من حالة إلى أخرى .تُستخدم خوارزمية Baum–Welch، وهي تقنية لتعظيم التوقعات، بشكل شائع لهذا الغرض، حيث تقوم بتحديث معلمات النموذج بشكل متكرر لزيادة احتمالية التسلسلات المرصودة.

يمكن لـ HMMأخذ متجه من العناصر التي تمثل الصورة ومعالجتها من أجل تقييم الملصق .وبمجرد تدريبه، يستطيع HMMفك تشفير الصور النصية الجديدة المكتوبة بخط اليد .بالنظر إلى تسلسل متجهات المعالم من صورة جديدة، يتم استخدام خوارزمية فيتربي للعثور على التسلسل الأكثر احتمالًا للحالات)الأحرف (التي يمكن أن تولد الميزات المرصودة .يتضمن ذلك حساب المسار من خلال حالات HMMذات الاحتمالية الأعلى، والتعرف بشكل فعال على تسلسل الأحرف في النص المكتوب بخط اليد.

يمكن التعرف على النص العربي من خلال فهم موضع الحرف في الكلمة وموضع الكلمة في الجملة .الميزة الرئيسية لاستخدام HMMs للتعرف الضوئي على الحروف باللغة العربية هي قدرتها على نمذجة التبعيات التسلسلية والسياقية بين الأحرف .يعد ذلك ضروريًا للتعرف بدقة على النصوص المكتوبة وغيرها من التطبيقات للنموذج .يمكن لـ HMMsالتقاط التباين في أنماط الكتابة اليدوية والتأثير السياقي للأحرف المجاورة، مما يؤدي إلى التعرف بشكل أكثر دقة .ومع ذلك، فإن فعالية HMMsتعتمد بشكل كبير على جودة وتنوع مجموعة بيانات التدريب ودقة عملية استخراج الميزات .من خلال الاستفادة من الإطار الاحتمالي لـ HMMs، يمكن لأنظمة التعرف الضوئي على الحروف تحقيق أداء قوي في التعرف على اللغة العربية .يعمل النص المكتوب بخط اليد على تسهيل التطبيقات في مجال الرقمنة واسترجاع المستندات والمزيد.

النتائج

الجدول :2مقاييس أداء الخوارزميات القائمة على التعرف الضوئي على الحروف.

خوارزمية	دقة	دقة	تذكر	F1-النتيجة
سي إن إن	85%	84%	83%	83.5%
RNN-LSTM	92%	91%	90%	90.5%
همم	80%	79%	78%	78.5%

للتعرف على الكتابة اليدوية باللغة العربية (OCR)، توفر ثلاث خوارزميات CNNو RNN-LSTMو HMMمزايا وقيودًا مميزة .تتفوق شبكات CNNفي استخراج المعالم المكانية، وتحقق دقة تصل إلى .%85ومن ناحية أخرى، فإنهم يجدون صعوبة في التقاط الطبيعة التسلسلية للكتابة اليدوية المتصلة .تقوم أجهزة HMM، بدقة تصل إلى 80%، بنموذج التبعيات التسلسلية الأساسية ولكنها تفتقر إلى التطور اللازم للتعامل مع أنماط الكتابة اليدوية المعقدة .في المقابل، تتفوق شبكات RNN-LSTM، المصممة للبيانات المتسلسلة، من خلال إدارة التبعيات طويلة المدى بشكل فعال، مما يؤدي إلى أداء فائق بدقة تصل إلى .%92وهذا يجعل RNN-LSTMالخيار الأفضل بين الثلاثة . يلتقط بقوة الديناميكيات الزمنية للكتابة اليدوية العربية، ويتفوق بشكل كبير على كل من CNNsو .HMMsأدى تقدم التكنولوجيا إلى ميزة أخرى تتمثل في استخدام التعلم العميق وهي التعرف الضوئي على الحروف .(OCR)

نظام التلخيص

يمكن أن تكون قواعد الارتباط طريقة قوية للكشف عن الأنماط والعلاقات المخفية داخل النص العربي، مما يساعد في مهام مثل التنقيب عن النص ومعالجة اللغة الطبيعية .يتضمن تعلم قواعد الارتباط تحديد الارتباطات المثيرة للاهتمام ومجموعات العناصر المتكررة ضمن مجموعة البيانات .عند تطبيقه على النص العربي، يمكن أن يكشف هذا الأسلوب عن الارتباطات بين الكلمات أو العبارات أو الأحرف التي تظهر معًا بشكل متكرر .على سبيل المثال، في مجموعة من الوثائق العربية، قد تحدد قواعد الارتباط أن بعض الكلمات غالبًا ما تتواجد في سياقات محددة، مما يساعد على الكشف عن الهياكل النحوية والدلالية المتأصلة في اللغة .يمكن أن يكون هذا مفيدًا بشكل خاص لمهام مثل تصنيف النص، ونمذجة الموضوع، وتحليل المشاعر .ومن خلال تحليل هذه الأنماط المتزامنة، يمكن للباحثين الحصول على نظرة ثاقبة حول

بنية النص العربي ومعناه، مما يساعد في تطوير نماذج لغوية أكثر فعالية وتحسين دقة التطبيقات المستندة إلى النص .علاوة على ذلك، يمكن أن تساعد قواعد الارتباط في بناء محركات بحث وأنظمة توصية أكثر كفاءة من خلال فهم سلوك المستخدم وتفضيلاته من خلال النص الذي يتفاعل معه .وبشكل عام، فإن الاستفادة من قواعد الارتباط في تحليل النص العربي يمكن أن تعزز فهم اللغة ومعالجتها، مما يؤدي إلى تطبيقات أكثر دقة ووعيًا بالسياق.

خاتمة

اللغة العربية غنية بالقواعد والكلمات التي تغير معنى الجملة بتغيير موضعها .يتم التعرف على النص العربي من خلال التعرف على كل حرف في النص ودمجه لتكوين جمل .يساعد وجود الذكاء الاصطناعي في تطوير التعرف الضوئي على الحروف من خلال إضافة قيمة فهم النص المكتوب بخط اليد .يركز هذا البحث على التعرف على النص العربي المكتوب بخط اليد باستخدام ثلاث خوارزميات .هذه الخوارزميات هي CNN وHybrid RNN–LSTM وHMM. ويتم تدريب تلك النماذج باستخدام مجموعة بيانات الحروف الأبجدية العربية .لقد نفذ التعرف على النص جانبًا آخر من المعرفة المستخرجة من النص المعترف به .يتم ذلك باستخدام خوارزمية قواعد الارتباط بعد التعرف على النص . أظهرت النتائج أن نموذج RNN–LSTM الهجين قد حصل على أفضل النتائج بحصوله على دقة .92%.

المصادر والمراجع

[١] محمد محمد عبد اللطيف، نورا الشباسي، أحمد العشماوي، محمد عبد الرحيم، نموذج التعرف على لوحة الترخيص العربية منخفض التكلفة القائم على إنترنت الأشياء لأنظمة مواقف السيارات الذكية، مجلة عين شمس الهندسية، المجلد14 ، العدد6 ،2023

[٢] Cheung, M. Bennamoon, NW Bergmann, نظام التعرف البصري على الحروف العربية باستخدام التجزئة القائمة على التعرف، التعرف على الأنماط، المجلد34 ، العدد2 ،2001 ، الصفحات233–215

[٣] صلاح الغيالين، معماريات CNN المحسنة للتعرف على الحروف العربية المكتوبة بخط اليد وأجهزة الكمبيوتر والمواد والاستمرارية، المجلد 79، العدد3 ،2024 ، الصفحات4924–4905

[٤] نضال إمام، فاسيليوس جي فاسيلاكيس، ديميتريس كولوفوس، التصحيح اللاحق للتعرف الضوئي على الحروف للكشف عن الصور النصية المتعارضة، مجلة أمن المعلومات وتطبيقاتها، المجلد66 ،2022

[٥] سليمان السحيباني، محمد تنوير برويز، اختبارات CAPTCHA العربية التفاعلية المفلترة للهجوم، مجلة أمن المعلومات وتطبيقاتها، المجلد 70،2022

[٦] محمود الأيوب، آية نصير، خلود السميرات، ياسر جراروة، بريج غوبتا، التعلم العميق للبرمجة اللغوية العصبية العربية :دراسة، مجلة العلوم الحسابية، المجلد26 ،2018

[٧] حمدي حسن، ماهر خيماخم، نظام التعرف على الكتابة اليدوية العربية الموزعة على نطاق واسع بناءً على مزيج من خوارزمية astDTW ونموذج برمجة تقليل الخريطة عبر تقنيات الحوسبة السحابية،AASRI Procedia ، المجلد5 ،2013 ، الصفحات163–156

[٨] عزيز قاروش، بسام جابر، خضر محمد، مهدي وشحة، إيمان معالي، نبال نايف، خوارزمية فعالة ومستقلة عن الخط لتجزئة الكلمات والحروف للنص العربي المطبوع، مجلة جامعة الملك سعود – علوم الحاسب والمعلومات، المجلد34 ، العدد1 ،2022 ، الصفحات1344–1330

[٩] محمد لطف، شينج يو، يو مينج تشيونج، سي إل فيليب تشين، التعرف على الخطوط العربية بناءً على ميزات التشكيل، التعرف على الأنماط، المجلد47 ، العدد2 ،2014 ، الصفحات684–672

[١٠] خالد الزامل، منایر العجمي، تطبيق تصنيف المستندات النصية للمراسلات الحكومية العربية، مجلة الكويت للعلوم،2024

[١١] يي تشانغ، داتونغ تشن، ينغ تشانغ، جي يانغ، نظام ترجمة آلي عربي قائم على الصور، التعرف على الأنماط، المجلد42 ، العدد 9،2009 ، الصفحات2134–2127

[١٢] إم إس خورشيد، التعرف دون اتصال بالإنترنت على النص العربي الشامل باستخدام مجموعة أدوات(HTK) HMM ، رسائل التعرف على الأنماط، المجلد28 ، العدد12 ،2007 ، الصفحات1571–1563

[١٣] عزيز قاروش، عبدالكريم عوض، محمد مدلل، مالك زق، التعرف على الحروف العربية المطبوعة متعددة الخطوط دون تحديد الخط، مجلة جامعة الملك سعود – علوم الحاسب والمعلومات، المجلد34 ، العدد6 ، الجزء أ،2022 ، الصفحات3039 –3025

[١٤] سونيا يوسفي، سيد أحمد براني، كريستوف جارسيا، مساهمة نماذج اللغة الاتصالية المتكررة في تحسين التعرف على النص العربي القائم على LSTM في مقاطع الفيديو، التعرف على الأنماط، المجلد64 ،2017 ، الصفحات254-245

[١٥] رانيا الصباغ، :ArzEn-MultiGenre مجموعة بيانات متوازية متوازية لكلمات الأغاني والروايات والعناوين الفرعية باللغة العربية المصرية، مع ترجمات إنجليزية، البيانات باختصار، المجلد54 ،2024

[١٦] عزيز قروش، عبدالكريم عوض، أبو السعود حناني، خضر محمد، بسام جابر، علاء حشيش، التعلم الحر، فرق تسد، خوارزمية استخراج سطر النص للنص العربي المطبوع مع التشكيل، مجلة جامعة الملك سعود – علوم الحاسب والمعلومات، المجلد .34 ، العدد9 ، 2022، الصفحات7709-7699

[١٧] أجونج يوونو سوجيونو، كيندريكو أدريو، كيفن تانويجايا، كريستيان مارجي سوريانينجرام، استخراج المعلومات من لوحة تسجيل المركبات باستخدامOCR Tesseract، Procedia Computer Science ، المجلد227 ،2023 ، الصفحات938-932

[١٨] آرام لي، هونغ يون يو، جيهيون مين، خوارزمية تجزئة الخط وفرز ترتيب القراءة بناءً على اكتشاف الأحرف المجاورة :معالجة لاحقة للتعرف الضوئي على الحروف لرقمنة النصوص التاريخية الصينية، مجلة التراث الثقافي، المجلد67 ،2024 ، الصفحات91 -80

[١٩] عرفان أحمد، صبري محمود، جيرنوت أ .فينك، التعرف على المفردات المفتوحة للنص العربي المطبوع آليًا باستخدام نماذج ماركوف المخفية، التعرف على الأنماط، المجلد51 ،2016 ، الصفحات111-97

[٢٠] محمد عارف كو، سيفاكومار بوروران، :OCR-Nets متغيرات شبكة CNN المُدربة مسبقًا للتعرف على الأحرف المكتوبة بخط اليد باللغة الأردية من خلال نقل التعلم،Procedia Computer Science ، المجلد171 ،2020 ، الصفحات2301-2294

[٢١] إسماعيل لمعقل، خالد المكاوي، إبراهيم وهبي، ياسين المالح، نموذج TinyML للتعرف على الكتابة اليدوية بالهواء باستخدام الإيماءات للأرقام العربية، بروسيديا لعلوم الكمبيوتر، المجلد236 ،2024 ، الصفحات596-589

[٢٢] فؤاد سليمان، سليم كانون، جان هينبرت، عادل م .عليمي، رولف إنجولد، دراسة عن عائلة الخطوط والتعرف على حجم الخط المطبق على صور الكلمات العربية بدقة منخفضة للغاية، حروف التعرف على الأنماط، المجلد34 ، العدد2 ،2013 ، الصفحات-209 218

[٢٣] فوزي زايز، محمد شوقي باباحنيني، عبد الحميد جفال، النظام القائم على الألغاز لتحسين التعرف على الكتابة اليدوية العربية، التطبيقات الهندسية للذكاء الاصطناعي، المجلد56 ،2016 ، الصفحات229-222

[٢٤] صلاح الغيالين، التعرف البصري على الحروف العربية :مراجعة، – CMES النمذجة الحاسوبية في الهندسة والعلوم، المجلد135 ، العدد3 ،2022 ، الصفحات1861-1825

[٢٥] عبد الحي زوزو، أرسلان زرغيلي، إلهام شاكر، :MOJ-DB قاعدة بيانات جديدة للكتابة التاريخية العربية ونهج جديد لاستخراج الكلمات الفرعية، رسائل التعرف على الأنماط، المجلد159 ،2022 ، الصفحات60-54

[٢٦] أ .الصاوي، م .لوي، و ح .البكري،" التعرف على الحروف العربية المكتوبة بخط اليد باستخدام الشبكة العصبية التلافيفية، "معاملات WSEASفي أبحاث الكمبيوتر، المجلد5 .، ص19-11 ،.2017