Writer Recognition by Computer Vision

Jeffrey P. Woodard MITRE CORP Christopher P. Saunders MITRE CORP & South Dakota State University Mark J. Lancaster USG

Measurement Science and Standards in Forensic Handwriting Analysis Conference June 4-5, 2013, NIST Gaithersburg, MD

> Approved by MITRE for Public Release: 10-2431 Approved for Public Release: 12-4194 Distribution Unlimited



© 2013 The MITRE Corporation. All rights reserved.

MITRE Computer Vision Approach

- Algorithms used common in science and engineering
- First known application to forensic handwriter recognition
- Public domain intellectual property
- No linguistic analysis
- No segmentation into units
- Supervision only for classification



Overview

Methods

- Features
- Clustering
- Bag of Words
- Latent Approaches



Experiments

- Arabic
- Dutch



Local Features: distinctiveness & invariance



5 Lowe's Scale Space Scale 1 Scale 2 Scale 3 Scale 1 Scale 4 Scale 5 ing the Blend, a list of lover of the Blend and the form of the Blend had the second that the second had the se Octave 1 nged as indridenable had anged as indridenable had anged as indridenable had anged as indridenable had anged as indridenable had all times at comment luck as all times at commond luck as all times at commond luck as all times at commend luck as all times at commond luck of Nation, heatin Negerial of Nation, heatin Negerial of Nation, heating Negerial of Mating, heating Augural of Mating, heating the er hen proceduige in tech ger hen proceduige in tech ger hen proceduige in hat ger hen proceduige in hat ger hat from the proceduige in hat a to propriety; and it was Octave 2 Octave 3 **Gaussian Representation** AM. Bland, a list of look of Mr. Bland, a list of lover of Mr. Bland, a list of lover of Mr. Bland, a list of love , and perfored that the succe, and perfored that the succe and perfored that the said and perfored that the It to persone the same. I failed to persone the same. I fail to persone the same. I fail to prome the same & fai unged as indispensable but unged as indispensable but unged as indispensable but unged as indispensable but all times at common such as all times at common such as all times at common such a all times at common such a of Nations, meeting Negrecel of Nations, meeting Negrecel of Nations, meeting Negrecel of Nations, meeting Negrecel as their proceedings in back gen their proceedings in back gen their proceedings in back on the proceedings in back to propriety; and it was a to propriety; and it was a to propriety; and it was a to propriety and it was Find Extrema

Difference of Gaussians Representation

MITRE

Local Features

Circle center: feature x-y position Circle radius: feature scale Circle arrow: dominant orientation(s)

ارُنب اسماد سنا حوى الماران وجيش مع يلال رباب مى يستادر توب نترن ستلك نثريا رغيص قنهم وجاج أحجد بالترب سرعديتمه سعر المرمعه بالنقاع . وقوق ضغرى وم المزرعه دب حامد الذي بدرب ذراح استذر القويه دريم من سريرها تم منذل ترباد وميسوبهر مرساس بيركيا كالتهرس وشاكر يقلف المشعنى. ومادق يقي القعم والضغدي يقول لغه العهاد ما أحدوها فيها خط حاض ويتمل برك القطام رمانط شنتع تلرت الظاهر والعيور تراكل الحنب والنعنع . مُحَادكَة تلبي مصاخبها والبيعار تفول نفريد ، " أين شراشه مفاف واليونم بقرة تاسم وطارى ومن اكل كعكه كوشر ؟ ، ولسام خلیل بیم می ممم مینران تقام ونای حنان وانصاف یعی شماد ومياد والوامى يبعث مهراؤلؤ . وسميديكت لغادى وقط محال هرب منذ الصباح ومتابط كنت البلاغ رميام مثارن ما ليعت مع الجيران. وقيع الدميح في من متان الخبير. مرامي المربين سنسريط معاعم. المصاض تدرات اللغط العربي . كمان الملك الدياغ الدى ق براميد المكاني . ان الدنيك ٢ سف ومرى . ائرنب اتسماد



المترسير عص بالنتاح و





Vector Quantization (VQ)

K-means, Generalized Lloyd clustering

Gersho, A. & Gray, R. (1992) Vector Quantization and Signal Compression, Boston: Kluwer Academic Press.

- Many different local descriptors quantized to small codebook -- "visual words"
- Represent each image by histogram of visual words

$$X \equiv [x_1, x_2, x_3, \dots, x_B] \in \mathbb{R}^{B \times 128} \text{ Local Features}$$

Iterate
$$\sum_{\substack{i:C(i)=k\\N_k}} x_i$$

 $m_k = \frac{\sum_{i:C(i)=k} x_i}{N_k}, \ k = 1, \dots, L$
 $C_i^* = \arg \min_{1 \le k \le L} \|x_i - m_k\|_2^2, \ i = 1, \dots, B$

$$i^{a} \equiv \arg\min_{i} \left\| x_{t} - C_{i}^{a} \right\|$$

Training

Testing



VQ "VISUAL WORDS"

100 random image regions from Arabic, DoG detector, SIFT descriptor, 512 codewords

Region sizes vary: all displayed identically

Regions for VQ codeword 1



Regions for VQ codeword 2



Regions for VQ codeword 3



Visual words" represent fundamental properties associated with early to middle vision

Bag of Words Representation







A Hierarchy of Visual Abstraction



MITRE

probabilistic Latent Semantic Analysis (pLSA):Text Documents

documents modeled as combinations of latent topics



pLSA for Images

images modeled as combinations of latent topics



pLSA Object "Discovery"

Ranked by max $P(d|z_k) = argmax P(Image | Object_k)$

Topic 1 Style = "tight" Topic 2 Style = "loose" ارب اسها من الترى الذات بعمين مع خل رناب مى سائل من حور سعنت مكن المركز مع مناط ما المعالم من سعنته من المركز على المحل و المركز من من مول من الداد و العرب المركز المركز المركز المركز من من موريل من ذاذ و العرب المركز والمركز على مركز أماد المركز عمامهم المركز المركز والمركز على مركز أماد المركز عمامهم المركز المركز المركز والمركز على مركز المركز المركز عمامهم المركز المركز المركز والمركز على مركز المركز المركز عمامهم المركز المركز المركز المركز والمركز على مركز المركز المركز عمامهم المركز والمركز على مركز المركز المري الارت الحاء من أخرى الأراشيريين امع بلنان رباب في ستان ار نِبِ أَسَمَاءَ مِنْ أَقَوْنَا الأَرَابَ بِعِبْتُ جَ بَقِيلٍ رَبًّا بِ فِي بِسَتًّا نَ ارت أسعادين أخرعه الاراب يعينى يوبلق ربأب في بسستان لدت قرب عل ويا ديد من دماية أعد باللرب من مدعد سر أردتُ أسماء من أقوى الأرائب بعدين من يقتل ريان في معتان عوت توب ستلت الأرباً. وهيه هن دعاج المدد بالقوب من عديفة معو تقورية بالمتال. وغوع سجهو تقوي و ف تون فرب نثك ثربا منيعك ادباع أسجد بالغرب ما حديقة اتوت الاب شك تروا منيد ترن وجاره أتجد باللاب من حديقة المزروعة بالتناع. وخرع تحرك دفي الارعة وبالعاد ولذي سبحوا بالاردمة باللغلع الهطوخ فخريها وفيا الاربطة متباحاته فالمجيع المهزرة دب عامد الذي يدرده طائيم أدام منذر المهادورم عمر سونونا في منيل محر الاندمة بالثناج . ومَنْعَ الَّزِي مَانَ الاَرْمَعَ دَبِ مَانَدُ الَّذِي الهاربع لماراع متنادةتشوبية ووعم على سريرجا فيامذل ذباد والميسون بالذي يبدجا باراع سندر العتوية ورحم على سريرها في ختل زياء ريان و مريون و ماير يوبيان اللوم و عالي يتعلف المقعل و سادى بيادي الغمسي فرسه المی فرانسته مناو وامه میکنه ما که مکله موسعه میسی مسیرین عام مکله ما و مکله موسعه مسیرین کوانی و میریکند. و رزد اجد میکنه مواجه به اطباط و دیم معلماً مو و رزد اجد میکنه مواجه به اطباط و دیم مسیری يدرجا لدراج سندر القويقا ورمم على سربرجا في نازلاريا و والساجي إربكيان الغام وشاكرا فيتطف الشمش المحمامة ينتعه الشعنعه دميسون وسامي يركنا فاالبرس وشاكر بينطف الشمش وصادقا والغنشجع يقوز لغة الجذاء ط أعلاما فيها شمل مأني رطال زك النطر وعانط متع وبيسعاد وساجي ركبان إفرين وشاكر يتطل المشعبق ومبادق سیسی الملونی رزیدامیست کدی توانیسی نیه الجیل ، وی اینین می می منا منا المانی مواسده توجیری علوالج مطاط المنهایی توانی الله تا العربی ، حکمه الملاک الدیا المانایی میبانی الحدالی ، امرا لرئیسین آست، و مرمن : حوف الظامر والمموز تأكل العنب والذفقع، وقادة تلمع مصاغها والابتداء ذقوق بياسن والتسحاه والخاطرج يشوق الغة الطاوحا أجلدها فيعا خط يتعه القصعاد والضندع يعتدل لغة العناد با أعادها بنها نعل والشذيع يقول لقت المناد ماأملاها فيفأ تعل سافيه وطلال معاند ویکی بخر قاسم و طایف وجها او معمد، طور معرف ی عطیل بیدت من مورکی تعلیم و ماری ایک کو ؟ و واوادی بیدت من مورکی تعلیم راباد دندن و اعادت درت ا معند العمل و حدیا که اور سعو کندر خان و حط و حل تغويه " لين نواهة مدان وأدن بنوه محاصم وطارق ومن أقل كمعكه كموني " باحاي وطلداد ركب انشطار محافظ أمخ للمت ادنادها والجورزانا كل ماضي وغلالاركب الثطالا وساخط متح ظت الفاحر والجوذ ارتحب بالتغار وبباخلا فتخ أظرف الفلحى والتجوز تأكل النتب بولعل بمليل يبعث من حيوان تشام وسايه عنان واليلتان ووى خله ليت والتعلع ، وغادة اللبان المعاغلة دالبغاء القول الويد * أين است دومین میست میتوند و سن خان ندین موط بسلی میتوند اسل و میتوند اسل میتوند میتوند میتوند میتوند مسئل روی کو علیماند اس میتوند دلده ، طولی میتون تیط ارمینه ، ارمکانی ، آن ارامه ، آرست و 200 298 تماكل النب والنميج المطامة مليما بسائعها ما ليخا شقول كغريت 50 ومراء والزاري ريدت عن لتؤثر وحسور يُحتى الداني وقط عمال في ينتا الصباح وضايط كنتي البلاغ رغنات غارك أن البحت تح البنوان. الاالتحق الوطامة تلبس مصاغها والبيقاء كشول تغريت والأبن فبالشته أمطاف دأينه بعثه تماحم مطارف ومهاأكل كعكنه كمرتز ا ا» این فراشة حاف واین بترته ماسم مقاری . و اکار کنتند کوتر؟ ۲ ا المسلحة الماية، بعليه تماسم الماري، ومن ألق كمانكة كموثر ؟ * وقع الديني 5 **خان ع**م منات النوز. مواقع المريق تقريط مطاط التواخر حوات الدقة المورة. كمان أغلق الدناني **المحقق ا**لدقاق والسان خليل بجث اعترونات كااح فكل حاك مالها تشريدي الهام والسابا بتلل يجب مناية أداعام منافاهنان والعانيت إحة ر دسان النبیل. بحث من بدآن کام ما وه حتاف و الها تبت بسف خاه وبياء والوادي بحث خالالا ا واستورعتها فادي رقط أجال وأيناه والعادي رجث هدللاقاة ، وسيريكت تدوي واقطرهال فهام مبيام والطويه بجث عنانة لقاء مسير يكتب الهادي هاين دوان الدوم آميد ومون. وماية المتعاك أن الوكوم آميد ومون. عدب فندالصباع دفابط كتبه البافغ وفياضشارات فا حرب نند المصبلح وضابط كب البلاغ وقياض شارل ليه البون رخط رعاله طرب تبذ النعباع وخاجط كتمه البلوغ وفياخه شارتك الحت ج اليراد . الج الدجاج في كم امتات الخبر . قرأش الحيض ب الحت ج الجيران، وقع الدولج في فتح خاست الجنه، فأش الأحض يع الجيران ، متح الدِّتاع فيه تح منات أكبن . فما سُمه المريحان شريط مطاط ، العنامة ترات الملغة العربية . كان الملك شرمط مطاط والبيناعي كرابث الملخة العربية وكاده الملك البراغ - شريط مطاط ، المعنا من الله الكربية ، كان المالت للباغ المستادة والمنظمة المعادية المستعدية. الدتمان برماية السكال. إن الرئيس آست وبرئ . 46 الدباغ النَّاك برياية 46 34. {ه الأس آست ومرة. Writer indexes shown in green ارتب احار للما السماني بعيت م بلل كم يستاذ المتواقصه استمطؤه إلايات بعيسانها بلاسة نسيته رب السدد المراج زائب بيسماح جل طاماة المكارتين ترمقت ریاضی می می ولد تد وجایا ۲ میر بالغرام جرنام میں متات شرع ملف مترو ولد تمد وجایا ۲ میر بالغرام جرنام الدين ورب بندب الريا المثيه في حجاج أحبد بالذب م التراوا ومتم المدوجاج الممية الملتزة مستعيته سعوا المتعام والماق فتؤم ون هزده ورحامد این نیارد. ذلاح متار این ودیم عصیصی سیریما ۵ مذل درم و رسید و سام برکتر ایرس دستم بطر اینسند. حديثة سعد المزررة بالثغام ، وضع المعدية وفي المزرجة بلاوم المشاج ، على المخرب وتما يتزرم الما جامع إلى البان قدالم أونيه أعط مهاديو الإند بعيق عيابل رباب ف بحال دون بي، ملك ثوراً 19 رنها هن مايرك رايد ريان من عدينة صلى الإرزية بالتاقي وعن تتون رف الأري دب هامه ان يدرية قرام عند القورة برزم ماي سورها ف متيزيات الله بسیر سودی رود بی بی مع موجل رو ترکی ادار دیست در مایر نمر دور آم و تادی مع میشی سر بورسم بالطل مفتر مای مایر بورسه رو می داد. الونية أحماء من القون الإرانية بحيش مع بايل ربادية باعقان توت الرب ملك تورادياته عن معاج الجد بالقوي من مدينة بعقو حبَّ حامد الذي يورينه لأراع حنَّة، التوبُّةُ مربع عن سميرما متز ليق دريم ت سريرها تزلدناد وسيق سلم بركبه ر ماهد منين المتده ، المعندع ميترل له المعاد ما يدها منها تعل كما فذك ذياد رسيسعدك وربامي بركبان الغرسى مصكر يتعوف العرس يتكم بقطة جستش ومادم ليما إلعقمه ولعندو بقول لغ المؤزومة بالسفاع ، وعري عنى وفي الأزوج « ب ما مدالغ، مبتر مة مزام من مان، فلا ي الله . بالد في الله . المد نا ي وجيعها رحابي اوامازا النوى وشاكر يشطف الماشعش وسادق نشفى القسنس المستجس ، وحادث يتمس الشميمي والطفيع بقدل لقة اللومة وردم على موسوها في ملود زياد ومعمون وحامي يوكدان الغوس الفار ما اجاما فيلافتن ماجه و الملاك ركب المقادر جانك فيتركل . تعبيمه و بند موسع المناتي و المنا و تعل يقرم ال والسنديع بعول لغه الشار طأ أدانا فبها شعل ماهيم وطلال رك القطار وحادط التناد بها العصحا فيبيها فعلى حاجي أيحفان ركاتي القعار رغاي يحلف المنسلي. وسادق يدين النسمي واستمع يدول انة الط ط الصحية أعلاما نبيا نسل ، فن وطلاري، الطارومانط مذي طرف مراسة علما والمراقية فأسم وطارد وسامح كمكم كوتر مساتف تثبح غدت انقيامه والعبوز اتأكل العنب والتعغ طوف أأنطابو والمبوز تلكل المنده والتنزير وأماده تلهي صطاحصا تبا والبنغاه تقزل اللماحر والبوز تأكى إلىتبادينى ومادر تشب أحساغة ويبيقاد الطاعوراسمهرز تأكل المنب والتعذع وناده تلبعي مساديا والمدداد تقوز لتعويده ٢٠٢٢، تؤلفه منه م وأدن بقوة عاسم وطواق ومن أكل كسكته كبورً؟ ولعان تدليا وخامة للبسى مساغها والبعاء تتول شغريد وأبي ومسام فلاي معيمة ساميران فاكا رئام جامع و الهومة مبده فقوه القول تغريب الأسو خلات والباستجرم فاسمم والمارد وراقل تغوید." این فواهکا خان واین داین نظم وطارف رس انمل تمکنه کمین؟" اراسان مقابل نیدهنه مین میزن محام وسای خان واقفند بدق نیک ومیاه يممله من موان تمام وتاي مذان واليات بدق ناد وجاء أوقولين ويمله من توي شرائة حنات وابنى بتمده فاس وطارن ومن اكل ومدود الدائدة أليب من مؤدن وسيرجد بكي لادرتط جول يمعدَّمَّ موان قدم وقاي هذان (موهنه بدي دم وحد رجمه ، وجويه بعده من جو. وحور تحد لقام وململو في منا المراج وعاما ماكن القاع بقيات كالا والمدن مع قصون مربع الدهاج في مع فقات الميز ، فوق الموس نفريط معقاط ، الضائق توان الافته الموسة ، كان لللك الدياع الدياق بوقاية - كعكر كور . ف ماي بعية مايزام خامونان بالمار بديان ه، ويسع رفائد كما مين وتور تدرك بين يا برام کتکة کوتر ۲ دورت خلیل بیرے حل میزان شام والواري دينت من ليدليه و سبق يكذب النادي وحط حمل قوب ملة العباع مرمد فاد رباء الاور يعيم مدلولا رسير في لغاده وتلجل وتابي حثائ والبناق يدت فيدلد مبياه مالادي حد الم يسلم ومن المركب بلاغ فر فو حرب المرك الم م می برمان می تناقبان را بر برستوط با طر این م مراجع بر ماریس مدین می این مربو برطان ار برایس است را وخابط كنب الجافن البلاغ ويعطعه وحماض تمارى في البعث سيرادينون يبعب عن لذاذ . و سيد بكتب لناديه يتعد جـال حرب وقع الدواع في فقات الفين غواق الموسل كوسط مطاط. الحاض دون الله المورة كمان أغلت أدراع الدفاق بوعامة التقاك. النَّاكِ ، إنَّ الرَّئيسَ آمدَ رمزتُ. مه جنام وتده اسرمان الله شان بخر مراسم طور موارد مصاطر المناصر ترات ركفار لجوم المدحل بديع لد تدمرينا به بحاك ار مراح محمد مورة من الصبغ منابط كتب البلام منافى شارك ش البحث يه البيران رقم الدجام في ضخ منا ت الغز . العن الركاري أحد رموت 30 39 نما منی المرینی محدیق معامر . المناطق شامه الملکة المدیسة . كان نشک الدین المصلی برماینة المكانی . إن الرئیسی اکسف مترو 400 المت استلاط المودة المتناخب يتهيش مع بحل الإنهام . المدر بتلف الريا بنيه الما وجع واللب عار حديثة اسر التروحة بالتلاح ، وختا الترج عامي الارحة عب حاص الموج یکریک آستا برخ اکتری الکرانیک بعیست موجل رواید می ویت بر توست تریپ شفت کردا مذیب تمن وجاح ارتب اسار فاقوه الانائب بعيش ع الجبل مهب يستأن توت ثرب ملطت فريا وينه فمنا حبلج أتهو باهرب والعديقة استر الأردية ابالاتح الرطخ تثري وت احد بالثرب من صديقة -عد المزرومة بالتناج. وطوخ بودبه خراج أحتذار القرية أرتبه على سبريدها فياطنترك ويآر المدرجة حب حامد المرجه يدرب شراع سنذر القوية مربع على وتمع المزجسة حب حآمد الذي أيدرب فدامح فنئد ميسون مسامي بركميك النزس متاجم يتعيف للسعسين . صريرحاخ طل زيل دسيسعنا مسابي يدكمان التمسن مصاكر القوبية وريم علما سريصاغ مترك زيا وتحصيون يتقل المستعمل، وحادث يتمين التعيش والغيفع يقول لغظ النباد بنا الحلحا تبيها حص سامي وعلف وكب التقاير وحائفتي رومات يقين التسبس والمحتمع يقدن نفة الفلا سا اعتدها. تهي بني حاض ولانت ركب القبلار وحافظه قلح حرف الطاحر يب اصاد من انترب الارانيا يوشر مع بنادرايه بي يشان نوى ترب عليه شريا درية ان مديم مع منايترين من بنه سخ الارممه اعتم و منهم شريع المراكب ومعرف مع المداني مريم كرما من والم يشري ماكن سريعا في رياد ومعرف تعلقه مي تسليم عرف كر المعرف الحيا عن امن الان عنهما والمسلم عرف لي نعو المعرف المراكب و معرف المسلم المراكب عليه مواقب و المما خلف معرف كل المراكب معرف المراكب عليه مواقب و الما خلف المعرف المن عرفة الدين المراكب عليه مواقب المراكب د امن بر تباً من الغرم بر حافل تبطف آعد شرش المبت اسماد مالات بعدان البيشاء جلمان والمستحانات المان أساء ببير الأنما يطلان عيث جاجه باب فح سيكار لل وصارف وقص التمسق والفنسلح فقول لغة المضار ما أحلوصا فيكر ضعل ماضري ولجلإل رأب التقارر وطافظ زويح طرف الفاحد و العبوز تأكل العلب والنفع وطارة الاس من ماده ترد مشيوت، ماين آميد بالعنه- سهبة سر ماتعود تأكل المعنب رالتعلى ، مغادة لليسى شصاطب رابيقه الثول تغريده "أيتم الماسة عنانه مأين بقرة السم سمانها بالبيغار تغول تنغيو والجب تماشط كمغاب سايت منتم خلسته المنكحر والعبوز تما كمل العتب والنصو وقائلة المسبب مصاغل والبسفان تشون تقديت المات كالمشتر عفات ذاتي مبترة تماسم وطايق مرم 7 كل تعلقه تول بعديقرا وإمه وطائف حاماً أكل كعكة كوائر؟ باس قدام مدد المدير مام على سابط تعلى زيد وسيدم وسن ركان الذي وسار ولا ب مراح عرفها تعلى معادف من الل ممكنة كوار؟ " والسال المليل بيمت من بوان قيام مرتاب عالما ما المات بدق فيلا معاه الدسانا غليل يبعث خما يذانا الثام وزايه حنانا والهاتف مدوب فايل يجت عنا مدران تجام وتاي حنان المآما مالواميه يبعث مئ الألان رسير بكتمب لنانيه وتنفه حيال يدف تهند رمياه والعامين بسب من المالا . مسيم المانية المانية مانية حيات من يعريق من عريق مستعر المانية المانية من المانية في الميت مع العيرات . مامع المانية المانية المانية في الميت مع العيرات . مامع يدى في و دمياه والداوي يعب عن لؤلو . م حب أنفذ السياح رحابته كشب البلاح دنياطى سارك وماه المعلم محمد محمد المولك و سعير بأعب لغار موقعاً جهال هرب ومدا نعباج و عايظ كتب البلزغ و نياض شارحه في المسمدي هو المجران. وقيع المعاج هي غنج غنا 10 الخبر ، غواشا الريبي شريط مطاط العاران تتكشب لأباري وتقط جالا تصرب منذ العباج وطاط نحياً أجست مع البيران ، منه الدجاج في مَع المارَّت اللهز . كتب السلاني رمياض شارات في العل مراغيرات. الدعام في مَعْ نشات الغير . تماسحا الحريث سريط بتعج الدجاج تحمي شعيج منتا مت الحبز المرامشي أ ماس المدين عريط معاط العنائي تراب اللا ستربط مطاط ، الغامن تراب اللفة العربيث، كأن معامل الشاش في اللغة العربية . كمان للك الدياع: الدقات برعاد 100 - إن القسري آست دمري. التحريبة . كمانا أفكن النباع الاقاق بدحايث المكاكئ . مَرَاتُ العَقَدُ العَرِيقَة كان اللهُ مَالَهُ بَاعَ الدَّقَاقُ برِجَايَة أَصَافَهُ . ان الركيد آسف وجرى -العربية . . . 13 الوليسي "كسنت ومرق". 1**2** الملف الدباني الدقات برعامية المحكاك اسر السيس آسعً، دمري 🚬

MITRE

Ranked left-to-right, top to bottom Woodard, J. Computer Vision for Forensic Applications, February Fourier Talks, Norbert Wiener Center, Department of Mathematics, University of Maryland, Feb. 17-18, 2011

14

Results: Dutch Uppercase Database

250 Subjects 2 documents per subject 500 total documents Style: Mixed Printed and Cursive Gray Scale Text Independent

Strict leave one out (SLOO) Cross-validation

	Approach	Cross- Validation	Features	Outside VQ Codebook	Codebook size	Rank-1 %Error	TIME (hrs)
MITRE ³	Spatial Pyramid	SLOO	Hessian- Affine	IAM ¹ partial	512	3.8	1.04
	Two-level probabilistic	SLOO	Texture & Allographic	IAM ¹ partial	400	14	?
Univ. Groningen ²¹		1		1		11	

¹http://www.iam.unibe.ch/fki/databases/iam-handwriting-database.

²Brink, A., Smit, J., Bulacu, M. & Schomaker, L. (2012) Writer identification using directional ink-trace width measurements. Pattern Recognition, Vol. 45, pp. 162-171.

³Woodard, J., Saunders, C. & Lancaster, M. Computer Vision and Statistical Learning (on a Budget), *Defense Threat Analysis/National Science Foundation/National Geospatial Intelligence Agency Workshop on Algorithms,* San Diego, CA, November 17-22, 2012

Results: Dutch Lowercase Database

250 Subjects 2 documents per subject 500 total documents Style: Printed Uppercase Gray Scale Text Independent

Strict leave one out (SLOO) Cross-validation

	Approach	Cross- Validation	Features	Outside VQ Codebook	Codebook size	Rank-1 %Error	TIME (hrs)
MITRE ³	pLSA	10-fold cross	Hessian- Affine	IAM ¹ partial	512	11.8	15.4
	Spatial Pyramid	SLOO	Hessian- Affine	IAM ¹ partial	512	4.4	1.31
Univ. Groningen ²	Bulacu & Schomaker (2007)	SLOO	Texture & Allographic	IAM ¹ partial	400	16	?

¹http://www.iam.unibe.ch/fki/databases/iam-handwriting-database.

²Bulacu, M. & Schomaker, L. (2007) Text-independent writer identification and verification using textural and allographic features. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Special Issue - Biometrics: Progress and Directions*, vol. 29, no. 4, pp. 701-71, April

³Woodard, J., Saunders, C. & Lancaster, M. Computer Vision and Statistical Learning (on a Budget), *Defense Threat Analysis/National Science Foundation/National Geospatial Intelligence Agency Workshop on Algorithms,* San Diego, CA, November 17-22, 2012



Summary

- Fully automated methods handwriter recognition methods based on general computer vision methods
- Reasonable performance achieved on Dutch, Arabic, and other languages with little or no re-engineering
- Little or no human supervision required
- All algorithms are believed to be public domain
- Much more work remains!



Backups



Querying



retrieved class
$$d^* \equiv \arg \max_{j} \{ sim(d_i, d_j) \}$$