

# Local Binary Pattern とその周辺

長谷川修<sup>†1</sup>

本稿では、1994年の提案以降、現在も多くの画像研究者によって拡張・改良が加えられつつある、Local Binary Pattern (LBP) について概説する。LBP では、例えば 3×3 ピクセル領域において、中心ピクセルの輝度値とその他のピクセルの輝度値との差を算出し、その正負によって、それぞれ 0, 1 を割り当てることを基本とする。こうした 0, 1 の並びのパターンは、3×3 サイズの場合、周辺 8 か所の総当たりで  $2^8=256$  通りとなるが、これが LBP の最も基本的なマスクパターンをなす。LBP は、演算コストを低く抑さえられる一方、画像の濃淡値の変動に頑健で、高い識別性能が得られることから、顔画像認識やテクスチャ分割、リアルタイムの動画画像解析など、様々な分野で応用が広がっている。なお本稿は、LBP の提案者である Prof. Matti Pietikäinen らが CVPR 2011 にて行ったチュートリアルに基づいて執筆した。このチュートリアルで用いられたスライドの PDF ファイルは、インターネット上に公開されており、誰でも無償でダウンロード出来る。また 2011 年 11 月には、提案者らによって、これまでの LBP 研究の集大成ともいえる本が上梓されている。LBP に興味を持たれた方は、是非そちらもご参照頂きたい。

## Local Binary Pattern, A Review

OSAMU HASEGAWA<sup>†1</sup>

Local Binary Pattern (LBP) is a simple yet very efficient texture operator which labels the pixels of an image by thresholding the neighborhood of each pixel with the value of the center pixel and considers the result as a binary number. Due to its discriminative power and computational simplicity, LBP texture operator has become a popular approach in various applications. It can be seen as a unifying approach to the traditionally divergent statistical and structural models of texture analysis. Perhaps the most important property of the LBP operator in real-world applications is its robustness to monotonic gray-scale changes caused, for example, by illumination variations. Another important property is its computational simplicity, which makes it possible to analyze images in challenging real-time settings.

### 1. はじめに

Local Binary Pattern (以下、LBP) は、Prof. Matti Pietikäinen 率いるフィンランド Oulu 大学の Machine Vision Group によって 1994 年に提案されたテクスチャ特徴の抽出オペレーターであり、現在も多くの画像研究者によって拡張・改良が加えられている。本稿では、LBP の基本的な考え方や算出方法について述べた後、LBP を用いた応用事例（顔認識、テクスチャ分割、動画画像解析）について概説する。

なお本稿は、LBP の提案者である Prof. Pietikäinen らが CVPR 2011 にて行ったチュートリアルに基づいて執筆した。このチュートリアルで用いられたスライドの PDF ファイルは、インターネット上に公開されており、誰でも無償でダウンロード出来る。また 2011 年 11 月には、提案者らによって、これまでの LBP 研究の集大成ともいえる本が上梓されている。LBP に興味を持たれた方は、是非そちらもご参照頂きたい。

### 2. 基本原理

#### 2.1 LBP の算出手法

図 1 に LBP の最も基本的な算出手法を示す。図 1 の 3 つのマスクパターンのうち、最も左の example を画像上のある位置から抽出された、3×3 ピクセルサイズの濃淡値の例とする。

ここでマスクパターンの中心ピクセルの濃淡値である 6 を、その周囲の各ブロックの濃淡値から差し引き、その結果が 0 以上であれば 1 を、負の値であれば 0 をそれぞれ戻す。この状態が中央のマスクパターン thresholded である。

マスクの各ブロックには、右のマスクパターンに示すように、左上から時計回りに  $2^n$  の重みが割り振られている。そこで算出した thresholded の値を、それぞれ対応する位置の weight の値と掛け合わせ、その総和を求める。

図 1 の例の場合、241 となり、これが左の example の濃淡値に対応する LBP のマスクパターン ID となる。

3×3 ピクセルサイズの場合、中心を除いた周辺ブロックが 8 個あり、そのそれぞれが 0 か 1 の 2 値を取るため、LBP のマスクパターンは全部で  $2^8=256$  通りとなる。

example	thresholded	weights																											
<table border="1"> <tr><td>6</td><td>5</td><td>2</td></tr> <tr><td>7</td><td>6</td><td>1</td></tr> <tr><td>9</td><td>8</td><td>7</td></tr> </table>	6	5	2	7	6	1	9	8	7	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	0	1	1	0	1	1	1	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>128</td><td>32</td><td>8</td></tr> <tr><td>64</td><td>32</td><td>16</td></tr> </table>	1	2	4	128	32	8	64	32	16
6	5	2																											
7	6	1																											
9	8	7																											
1	0	0																											
1	1	0																											
1	1	1																											
1	2	4																											
128	32	8																											
64	32	16																											

$$\text{Pattern} = 11110001$$

$$\text{LBP} = 1 + 16 + 32 + 64 + 128 = 241$$

図 1 : 最も基本的な LBP の算出手法

こうした演算を画像の全面に対して行い、画像上の各位置に対応する LBP のマスクパターン ID をすべて求め、求

<sup>†1</sup> 東京工業大学  
 Tokyo Institute of Technology

めた ID の総てを bin 数 256 のヒストグラム化し、その画像の特徴とする。ここで、演算式からも容易に推測されるように、LBP は画像全体の濃淡値の変化に対して頑健であることに注意されたい。

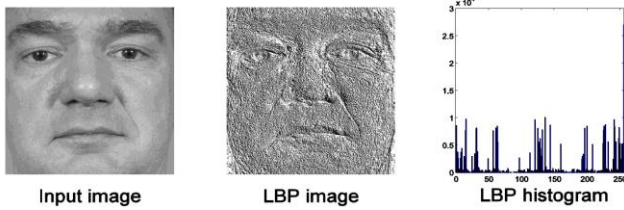


図 2 : LBP ヒストグラムの算出例

図 2 に、そのようにして求めた LBP ヒストグラムの算出例を示す。このヒストグラムは、元の画像が含む特徴として、認識や識別などに利用することが出来る。

LBP の ID は画像上の全面に対して算出されるため、ID 番号を濃淡値とした画像を生成することも出来る。図 2 の中央の画像は、そのようにして生成した画像である。

## 2.2 LBP の多重解像度化

LBP は、図 3 に示すように、容易に多重解像度化を図ることが出来る。図 3 において、P は ● で表された参照点の位置と数を示し、R は参照点までの半径を示している。この例では、半径の大きさに比例して参照点の数を増やしているが、参照点の数を固定し、半径だけを増やすことも考えられる。

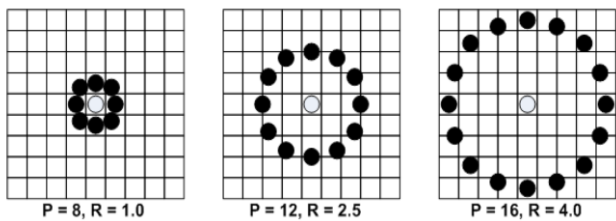


図 3 : LBP の多重解像度化

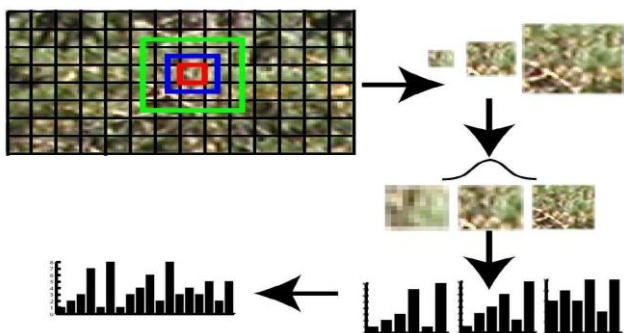


図 4 : 解像度の異なる LBP ヒストグラムの合成

LBP を多重解像度化した場合、異なる解像度の画像から複数の LBP ヒストグラムが得られることになる。その際、図 4 に示すように、得られたヒストグラムを直列に合成す

ることが考えられる。図 4 の例では、bin 数が 256 のヒストグラムを 3 つ合成しているため、合成後の bin 数は 768 となる。

## 2.3 LBP の回転不変化

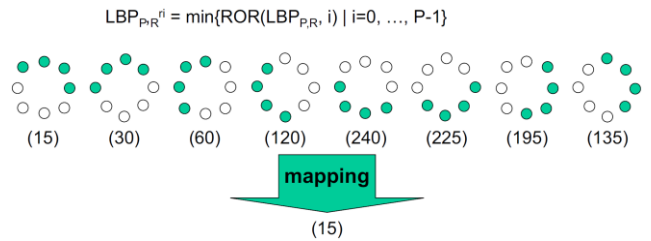


図 5 : LBP の回転不変化

LBP を画像の回転に対して頑健にするには、図 5 に示すように、回転すると一致するマスクパターンを集約させる。図 5 の例では、8 つのマスクパターンを、最も左の ID 15 のマスクパターンに集約している。

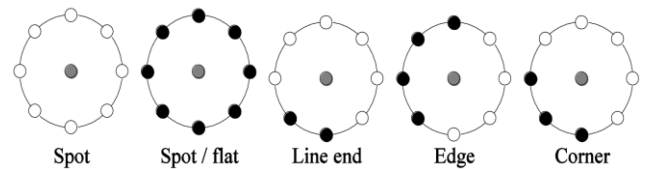


図 6 : LBP パターンに対応する画像特徴

図 6 に、各マスクパターンが抽出している画像特徴の意味を示す。ここで最も左のパターンは、中央のピクセルのみ一定の輝度値を有し、周囲のピクセルには輝度値がない。よってこのマスクパターンは、孤立点 (Spot) に対して選択的に反応する。同様に、最も右のパターンは、コーナー特徴に対して反応する。

すなわち LBP は、こうした画像特徴を非常に簡便な計算式で、画像全体の濃淡値の変化に対して頑健に、さらには各特徴の画像上の位置に対して不変に、抽出する手法であるといえる。

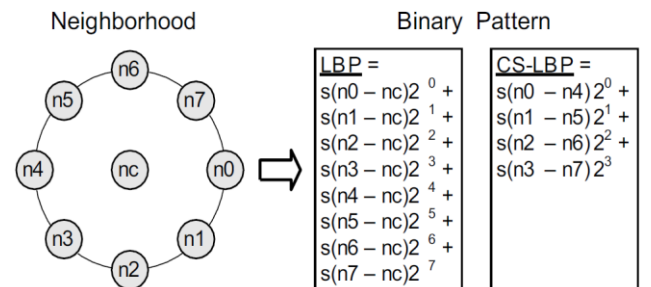


図 6 : Center Symmetric LBP

さらなる工夫として Prof. Pietikäinen らは、図 6 に示すように、中心ピクセルを挟んで向かいあうピクセル間の濃淡

値の差から構成する Center Symmetric LBP も提案している。

## 2.4 LBP の動画像への適用

図 7 には、LBP を動画像解析に適応する手法を示す。動画像は、多数の静止画像を時間方向に並べたものと考えることが出来る。そこで、静止画像を並べて 3 次元の立体画像とし、これに LBP を適用する手法が提案されている。図 7 では、赤、青、紫の 3 つの画像面に対して LBP を適用する例を示している。抽出された 3 つの LBP ヒストグラムは合成し、1 つの LBP ヒストグラムとする。このようにして得たヒストグラムは、その動画像の特徴として認識や識別に利用出来る。なお、これらの LBP を、それぞれ多重解像度化することも可能である。

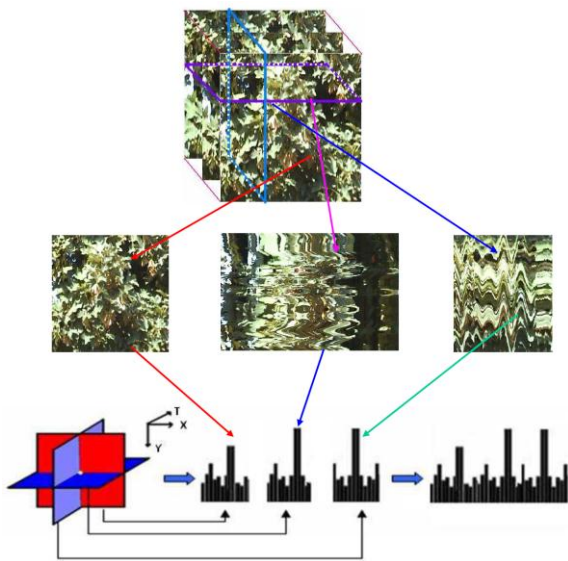


図 7：立体 LBP と立体 LBP ヒストグラム

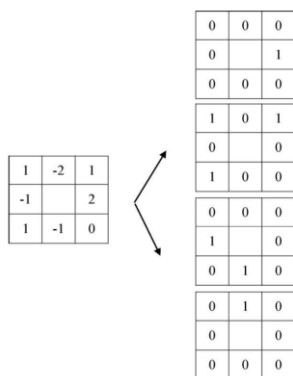


図 8：LBP の多値化

LBP はその名の示す通り、画像濃淡値のバイナリ表現を経て、その表現に対応するマスクパターンの ID を求めるが、場合によっては画像濃淡値の表現を多値化することで、表現の解像度を上げることも出来る。図 8 に、原画像の濃淡値を 5 値化 (-2, -1, 0, 1, 2) 表現した例を示す。

このように LBP は多様な拡張が可能であるが、同時に、

適用する問題に合わせ、必要十分な数のマスクパターンを選択して利用する「特徴選択」の視点も併せもつことが重要である。いたずらに LBP のマスクパターンの種類を増やすと、演算量が増えるだけでなく、かえって認識率や識別率といった性能の低下を招くことも考えられる。

## 2.5 回転不変な LBP 特徴の拡張

先に述べたように、回転すると一致するマスクパターン同士を集約すると、LBP に回転不変性を与えることが出来る。図 9 においては、各行のマスクパターンを集約することがこれにあたる。

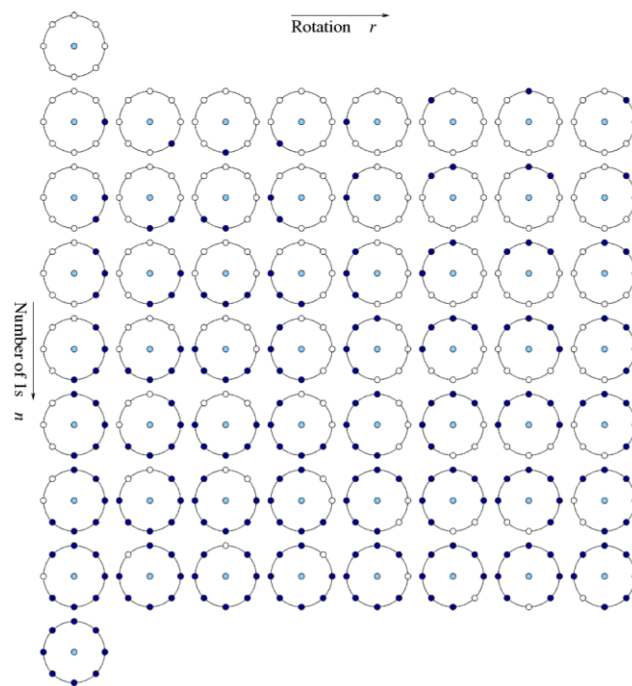
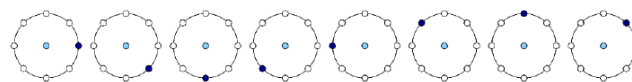


図 9：参照点の数（縦軸）とその回転パターン（横軸）

今、これをさらに拡張することを考える。図 9 において、水平方向の参照点数が同じパターンは、画像の回転に対し、反応数が水平方向に平行移動する。以下の参照点数 1 のマスクパターンを例に考えると、最も左のマスクパターンに反応する画像特徴は、時計回りに 45 度回転すると、左から 2 番目のマスクパターンに反応するようになる。



同じように、さらに 45 度時計回りに回転させると、今度は左から 3 番目のマスクパターンに反応する。すなわち、画像の時計回りの回転に対し、反応するマスクパターンが右方向に平行移動していく。

一般に、画像には多くの画像特徴が含まれるため、実際にはこれら 8 つのマスクパターンに反応する特徴がそれぞれ一定数存在し、bin 数 8 のヒストグラムをなすと考えられる。その状態で原画像を時計回りに 45 度回転させると、

ヒストグラムはひとつ右に平行移動すると考えられる。

図 10 に示す拡張では、この性質をうまく利用する。具体的には、参照点数が同一のマスクパターン群によって構成される局所的なヒストグラムを離散フーリエ変換し、得られたフーリエ係数を特徴として活用する。

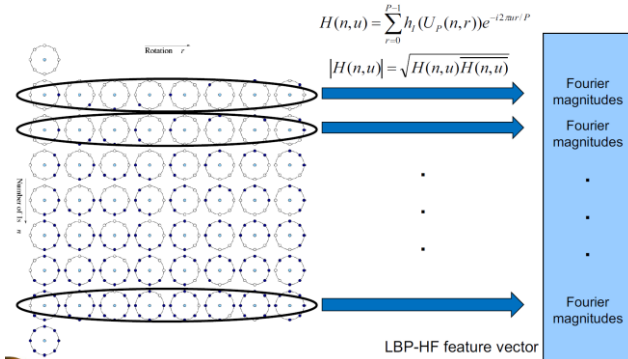


図 10: 回転不変なマスクパターン群から得られるヒストグラムを離散フーリエ変換し、解像度の高い回転不変特徴として利用する。

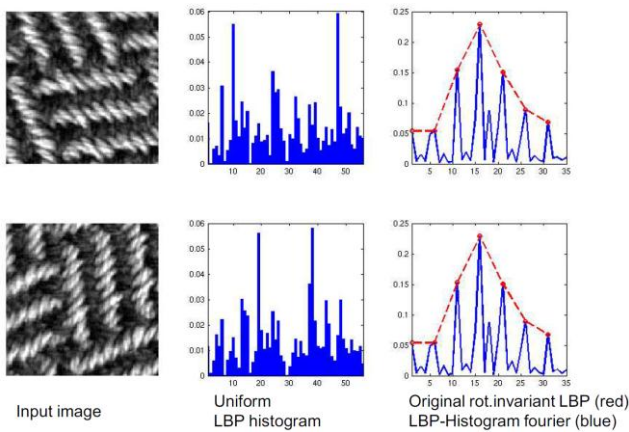


図 11: LBP ヒストグラムのフーリエ係数

図 11 は、このようにして構成した特徴の、画像の回転に対する不変性を示したものである。最も右の上下 2 つのグラフで、赤い破線は図 5 の手法による画像特徴であり、青の実線は図 10 の手法によるそれである。上下 2 つのグラフがほぼ同一であることから、双方の手法とも画像の 180 度の回転に対して不変であることが確認出来る。しかし、青の実線は特徴の解像度がより高く、その分、画像の表現力も高いと考えられる。

## 2.6 LBP の画像のブレやボケに対する対応策

画像が撮影される際、撮影時のカメラや撮影対象の動き、オートフォーカスの遅れなどによって、画像にブレやボケが生じることがある。その結果として画像の濃淡値の分布が変動すると、LBP の識別精度は低下してしまう。

この問題に対処するため、図 12 に示す Local Phase Quantization (LPQ) 法が提案されている。図 13 にブレた画

像の例を示す。図に示されるように、画像のブレは輝度値の情報が、特定の方向に引き伸ばされることによって生じる。



図 13: 画像のブレの例

そこで LPQ では、図 14 に示すように、5×5 ピクセル程度の局所領域に対して 4 つ程度の基底関数に基づくフーリエ変換をかけ、得られたフーリエ係数の正負に基づいて係数を 0 または 1 の 2 値に変換する。ここで得られるフーリエ係数の数は、2 次元の画像に対して 4 つの基底関数を適用するので、(4+4)=8 つとなる。

この 8 つの 2 値の数列を 8 ビットの 2 進数とみなすと、それらは 28 = 256 個の自然数と対応づけることが出来、この変化を画像全体にかけることで、bin 数 256 のヒストグラムを得ることが出来る。

ここで重要なことは、局所領域のウィンドウサイズ（ひいては基底関数）を調整することで、ブレによる画像の変動を一定程度吸収し、画像のブレに対する頑健性が得られることにある。

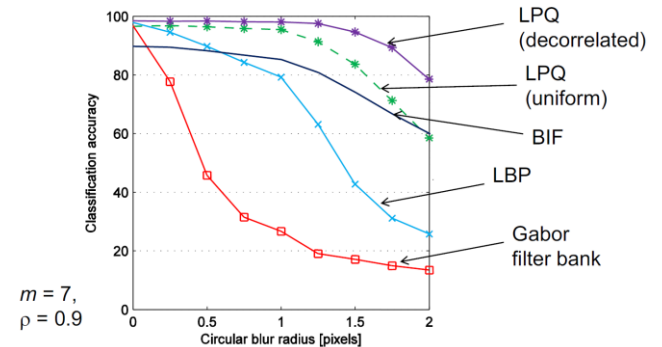


図 15: 画像のブレに対する LPQ の性能評価

さらには、事前に画像のブレの量や方向を推定し、相関の高い特徴は整理統合するなどの処理を施すと、頑健性がより向上することも確認されている (図 15)。

図 16 に、関連する他の画像特徴と LBP の関係を示す。

## 3. LBP の応用事例

LBP の応用事例は数多く報告されているが、本稿ではそのうち動画像からの顔表情認識に適用された事例を紹介する。

図 17 に手法の概略を示す。まず(a) に示されるように、顔画像を 5 つの局所領域に分割する。顔表情を動画像として撮影すると、(b) に示されるように個々の局所領域は 3 次元画像として表現される。この 3 次元画像に対し、(c) に示すように立体 LBP を適用し、3 次元画像に含まれる画像特徴を表現した立体 LBP ヒストグラムが得られる。

このようにして笑顔や驚いた表情の立体 LBP ヒストグラムを作成し、識別器に学習させることで、顔の動画像からの表情認識システムを構成することが出来る。

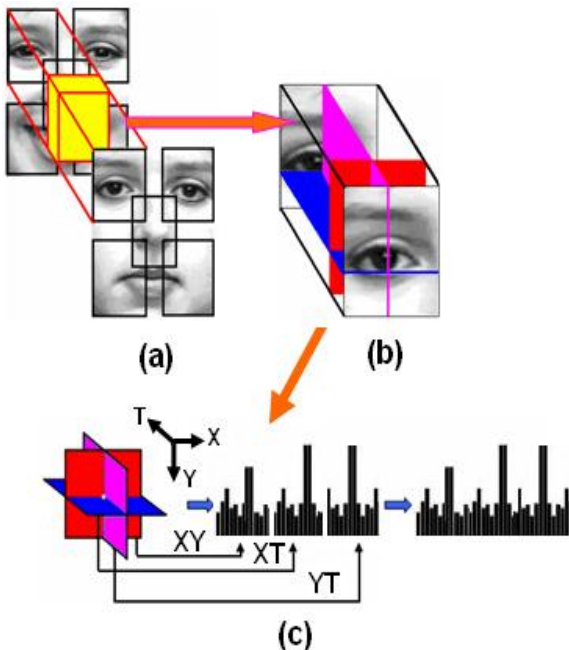


図 17 : 立体 LBP を用いた動画像からの表情認識システム

#### 4. おわりに

本稿では、近年注目を集める LBP について概説した。本稿がきっかけとなって LBP を活用され、良好な研究成果を得られる方が一人でもおられれば、望外の幸せである。

本稿を書く機会を与えて下さった、慶應義塾大学の斎藤先生、並びに CVIM 研究会役員の先生方に深く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) [http://www.ee.oulu.fi/~gyzhao/LBP\\_Book.htm](http://www.ee.oulu.fi/~gyzhao/LBP_Book.htm)
- 2) Matti Pietikäinen, Abdenour Hadid, Guoying Zhao, Timo Ahonen, "Computer Vision Using Local Binary Patterns", Computational Imaging and Vision, Volume 40, Springer, (2011) <http://www.springer.com/mathematics/book/978-0-85729-747-1>
- 3) Ojala T, Pietikäinen M & Harwood D, "Performance evaluation of texture measures with classification based on Kullback discrimination of distributions.", Proc. 12th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 1994), Jerusalem, Israel. Vol I, 582-585. (1994)
- 4) Ojala T., "Nonparametric texture analysis using spatial operators, with applications in visual inspection.", Dissertation, Acta Univ Oul C 105, Department of Electrical Engineering, University of Oulu, Finland.
- 5) Ojala T, Pietikäinen M & Harwood D (1996) A comparative study of

- texture measures with classification based on feature distributions. Pattern Recognition 29:51 - 59.
- 6) Ojala T, Pietikäinen M & Maenpää T (2002) Multiresolution gray scale and rotation invariant texture classification with Local Binary Patterns. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 24(7): 971- 987.
- 7) Ahonen T, Matas J, He C & Pietikäinen M (2009) Rotation invariant image description with local binary pattern histogram fourier features. In: Image Analysis, SCIA 2009 Proceedings, Lecture Notes in Computer Science 5575, 61 - 70.
- 8) Heikkilä M, Pietikäinen M & Schmid C (2009) Description of interest regions with local binary patterns. Pattern Recognition 42(3):425 - 436.
- 9) Zhao G & Pietikäinen M (2007) Dynamic texture recognition using local binary patterns with an application to facial expressions. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 29(6): 915-928. (parts of this were earlier presented at ECCV 2006 Workshop on Dynamical Vision and ICPR 2006)
- 10) Ahonen T, Rahtu E, Ojansivu V & Heikkilä J (2008) Recognition of blurred faces using local phase quantization. Proc. 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2008), Tampa, FL, 4p.
- 11) Ahonen T, Rahtu E, Ojansivu V & Heikkilä J (2008) Recognition of blurred faces using local phase quantization. Proc. 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR 2008), Tampa, FL, 4p.
- 12) Ojansivu V, Rahtu E & Heikkilä J (2008) Rotation invariant blur insensitive texture analysis using local phase quantization. Proc. 19th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Tampa, FL, 4 p.
- 13) Paivarinta VJ, Rahtu E & Heikkilä J (2011) Volume local phase quantization for blur-insensitive dynamic texture classification. SCIA 2011, LNCS 6688, pp. 360-369.
- 14) Chan C, Kittler J, Poh N, Ahonen T & Pietikäinen M (2009) (Multiscale) local phase quantization histogram discriminant analysis with score normalization for robust face recognition, In Proc. IEEE Workshop on Video-Oriented Object and Event Classification, 633..640.
- 15) Nishiyama M, Hadid A, Takeshima H, Shotton J, Kozakaya T & Yamaguchi O (2011) Facial deblur inference using subspace analysis for recognition of blurred faces. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 33(4): 838-845.
- 16) Brahmam S, Nanni L, Shi J-Y & Lumini A (2010) Local phase quantization texture descriptor for protein classification., Proc. International Conference on Bioinformatics and Computational Biology (Biocomp2010), Las Vegas, Nevada, USA, 7 p.
- 17) Nanni L, Lumini A & Brahmam S (2010) Local binary patterns variants as texture descriptors for medical image analysis, Artificial Intelligence in Medicine 49(2):117-125.
- 18) Fiche C, Ladret P & Vu NS (2010) Blurred Face Recognition Algorithm Guided by a No-Reference Blur Metric. Image Processing: Machine Vision Applications III, 9 p.
- 19) Jiang B, Valstar MF & Pantic M (2011) Action unit detection using sparse appearance descriptors in space-time video volumes. Proc. 9th IEEE Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FG 2011), Santa Barbara, CA, 314-321.
- 20) Yang S & Bhanu B (2011) Facial Expression Recognition Using Emotion Avatar Image. Proc. Workshop on Facial Expression Recognition and Analysis Challenge FERA2011, Santa Barbara, CA, 866-871.
- 21) Dhall A., Asthana A., Goecke R., and Gedeon T. (2011) Emotion Recognition Using PHOG and LPQ features. Proc. Workshop on Facial Expression Recognition and Analysis Challenge FERA2011, Santa Barbara (CA), 878-883.

- 22) Ahonen T, Hadid A & Pietikainen M (2006) Face description with local binary patterns: application to face recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 28(12):2037-2041. (an early version published at ECCV 2004)
- 23) Huttunen S, Rahtu E, Heikkilä J, Kunttu I & Gren J (2011) Real-time detection of landscape scenes. *Proc. Scandinavian Conference on Image Analysis (SCIA 2011)*, LNCS, 6688:338-347.
- 24) Heikkilä M & Pietikainen M (2006) A texture based method for modeling the background and detecting moving objects. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 28(4):657-662. (an early version published at BMVC 2004)
- 25) Takala V & Pietikainen M (2007) Multi object tracking using color, texture, and motion. *Proc. Seventh IEEE International Workshop on Visual Surveillance (VS 2007)*, Minneapolis, USA, 7 p.
- 26) Zhao G & Pietikainen M (2007) Dynamic texture recognition using local binary patterns with an application to facial expressions. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 29(6):915-928.
- 27) Zhao G & Pietikainen M (2009) Boosted multi-resolution spatiotemporal descriptors for facial expression recognition. *Pattern Recognition Letters* 30(12):1117-1127.
- 28) Taini M, Zhao G, Li SZ & Pietikainen M (2008) Facial expression recognition from near-infrared video sequences. *Proc. International Conference on Pattern Recognition (ICPR)*, 4 p.
- 29) Zhao G, Barnard M & Pietikainen M (2009). Lipreading with local spatiotemporal descriptors. *IEEE Transactions on Multimedia* 11(7):1254-1265.
- 30) Kellokumpu V, Zhao G & Pietikainen M (2009) Recognition of human actions using texture. *Machine Vision and Applications* (available online).
- 31) Kellokumpu V, Zhao G & Pietikainen M (2008) Texture based description of movements for activity analysis. *Proc. International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP)*, 1:206-213.
- 32) Kellokumpu V, Zhao G & Pietikainen M (2008) Human activity recognition using a dynamic texture based method. *Proc. British Machine Vision Conference (BMVC)*, 10 p.
- 33) Kellokumpu V, Zhao G & Pietikainen M (2009) Dynamic texture based gait recognition. *Proc. International Conference on Biometrics (ICB)*, 1000-1009.
- 34) Guo Y, Zhao G, Chen J, Pietikainen M & Xu Z (2009) Dynamic texture synthesis using a spatial temporal descriptor. *Proc. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 2277-2280.

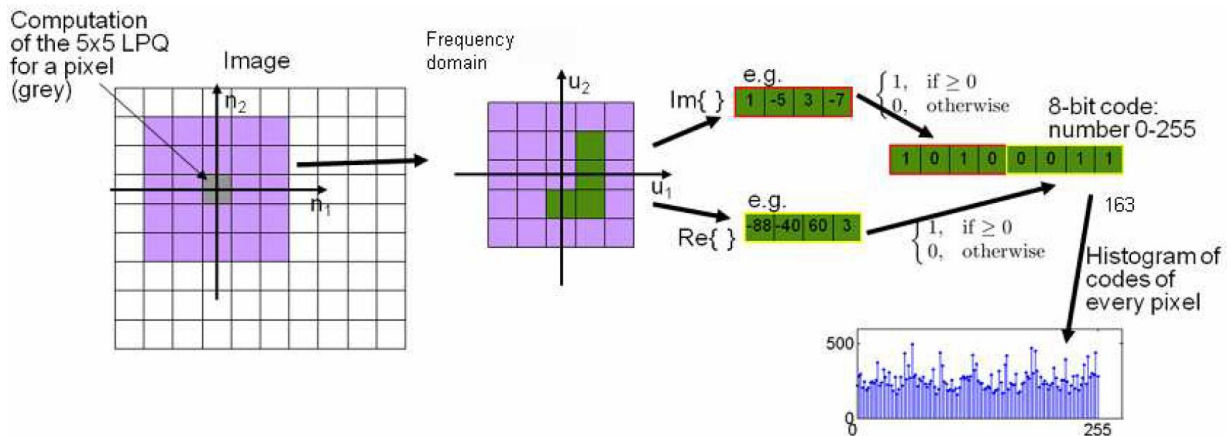


図 14 : Local Phase Quantization (LPQ) の概略

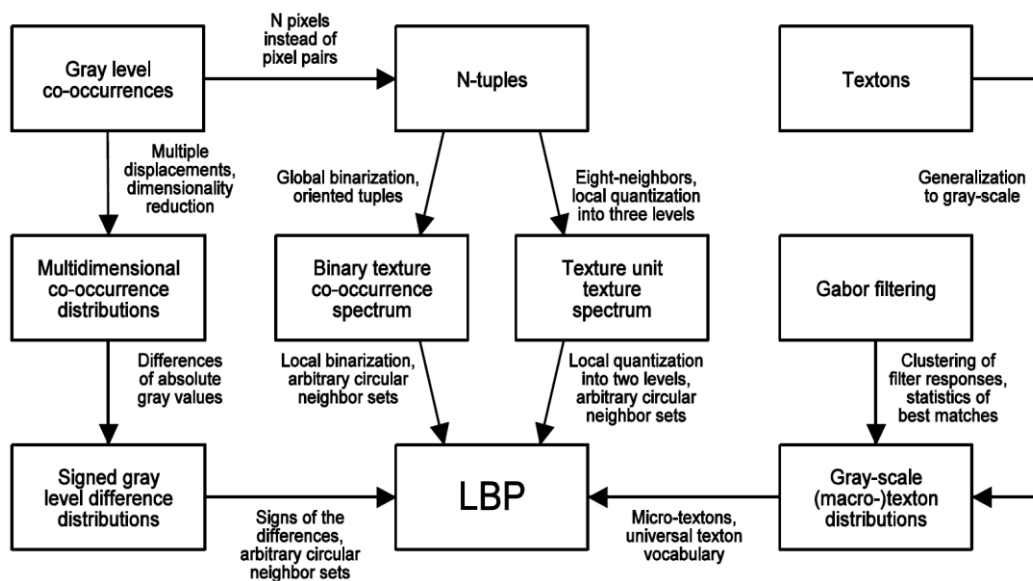


図 16 : 関連する他の画像特徴と LBP の関係