TRANSFORMEE DE HOUGH

Jean-Pierre BRUANDET

Révision: 20160316

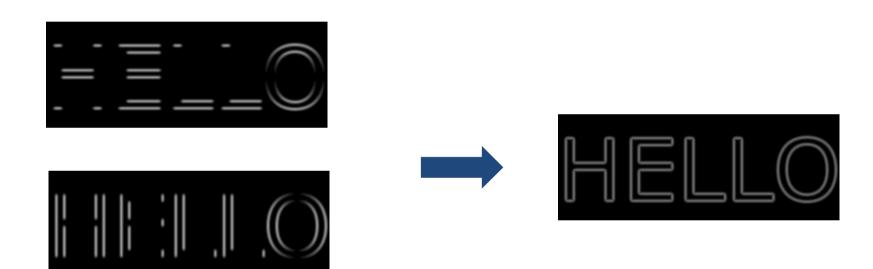






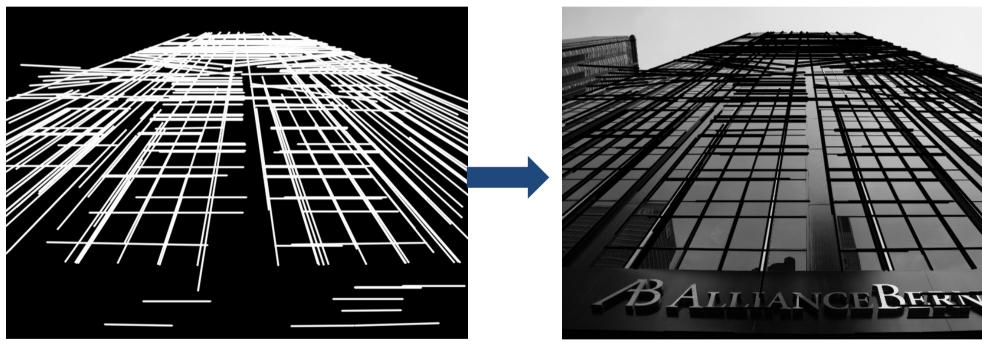
Que reconnaissez vous dans cette image?

Une personne



Que reconnaissez vous dans cette image?

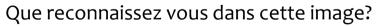
Le mot 'Hello'



Que reconnaissez vous dans cette image?

Un building







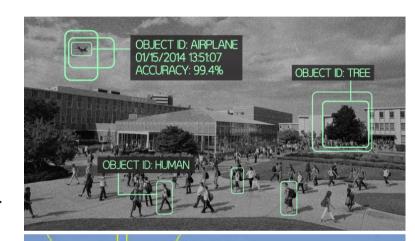
Un bâtiment, des voitures, des arbres

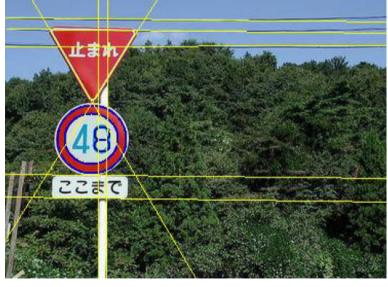
- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

INTRODUCTION

- Image: succession de pixels représentant des formes
- Vision par ordinateur et traitement d'images: donner/exploiter un lien entre ces pixels
- But: aide ou prise de décisions automatiques





TRANSFORMEE DE HOUGH

- Inventée et brevetée par Paul Hough en 1960
- But: détection et reconnaissance de formes (droites, ellipses, courbes paramétriques)
- Populaire depuis 1980 dans les applications industrielles
- Approche plus robuste en présence de bruit et d'occlusions partielles que des approches type morphologie mathématique ou corrélation

United States Patent Office

Patented Dec. 18, 1962

3,969,654 METHOD AND MEANS FOR RECOGNIZING

COMPLEX PATTERNS
ul V. C. Hough, Ann Arbor, Mich., assignor to the
United States of America as represented by the United 5

This invention relates to the recognition of complex 10 patterns and more specifically to a method and means for machine recognition of complex lines in photographs or other pictorial representations.

This invention is particularly adaptable to the study of subatomic particle tracks passing through a viewing field. 15 edge of the picture 100 equal to the horizontal coordinate As the objects to be studied in modern physics become smaller, the problem of observing these objects becomes increasingly more complex. One of the more useful devices in observing charged particles is the bubble chamber wherein the charged particles create tracks along their path of travel composed of small bubbles approximately 0.01 inch apart, depending upon the specific ionization of the initiating particle. These tracks form complex patterns and are readily photographed with the use of a dark back-With this device, multitudinous photographs are produced with each photograph requiring several hours study by a trained observer to recognize the complex patterns of the tracks. It is therefore readily apparent, that as the photographs increase in number, the time consumed by a trained observer to study them becomes excessive and, unless large numbers of trained observers are used. the reduction of data falls far behind the production rate.

It is one object of this invention to provide a method and means for the recognition of complex patterns in a picline 109 of the framelet 108.

(3) Each line in the transformed plane is made to have an intercept with the horizontal midline 101 of the picture 100 equal to the horizontal coordinate of its respective point on the line segment in framelet 108.

Thus, for a given reference point 110 on line ser 102 a line 110A is drawn in the plane transform 102A. The reference point 110 is approximately midway between the top and the horizontal midline 109 of framelet 10t and hence the line 110A is inclined to the right at an angle to the vertical whose tangent is approximately 1/2 The intersection of the line 110A with the horizontal midline 101 of picture 100 is at a distance from the left of the point 110 on line segment 102.

It is an exact theorem that, if a series of points in a framelet lie on a straight line, the corresponding lines in the plane transform intersect in a point which we shall designate as a knot 112. It is therefore readily apparent that the rectangular coordinates of the knots 112 in picture 100 have the following properties:

(1) The horizontal coordinates of the knots 112 equal the horizontal coordinates in the framelet 108 at which 25 the straight line segments 102, 104 and 106 intercept the horizontal midline 109 of the framelet 108.

(2) The vertical coordinate of the knots 112, relative to the horizontal midline 101 of picture 100, is proportional to the tangent of the angle of the straight line seg 30 ments 102, 104 and 106 relative to the vertical. Thus, the coordinates of the knots 112 in the plane transforms 102A, 104A and 106A give the slopes and intercepts of the straight line segments 102, 104 and 106 in framelet

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

PRINCIPE D'ACCUMULATION/VOTE

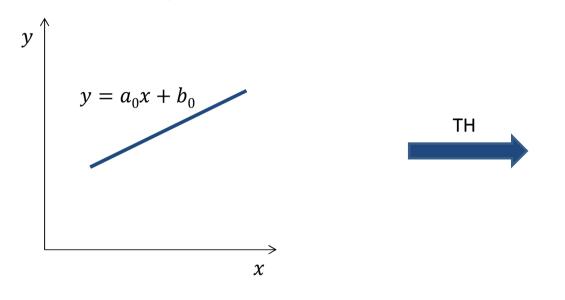
- Il existe une infinité de droites passant par un point
- Chaque point appartenant à une même droite augmente l'importance donnée à une droite spécifique
- Cette droite reçoit un vote
- L'ensemble des droites possibles ayant eu le plus de votes seront identifiées comme appartenant à la scène

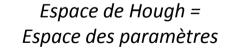
- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (1/4)

Soit une droite d'équation $y = a_0 x + b_0$

Espace image





а

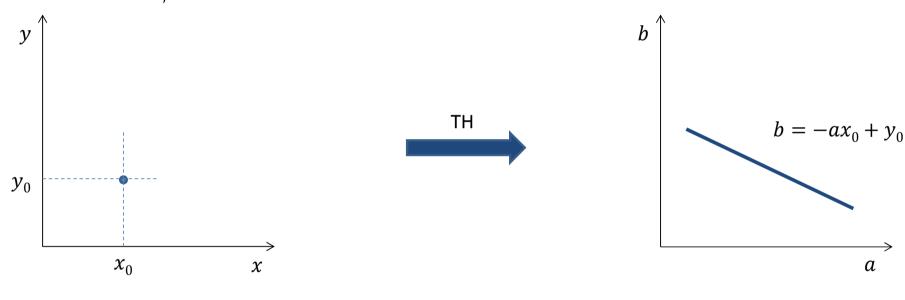
 a_0

A une droite de paramètres (a_o,b_o) dans l'espace image correspond un point dans l'espace des paramètres E(a,b)

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (2/4)

Soit un point $M(x_0, y_0)$

Espace image



Espace de Hough = Espace des paramètres

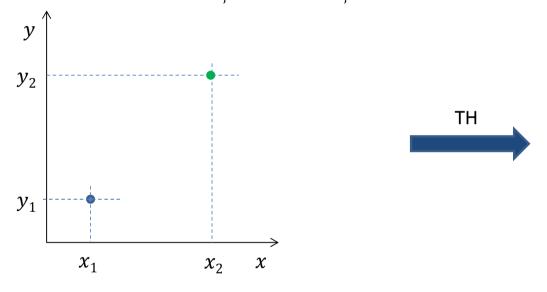


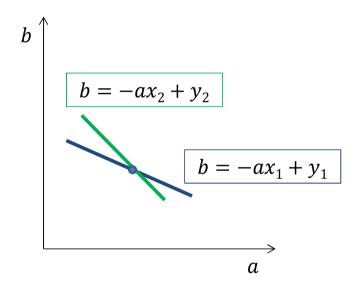
Pour chaque point de l'espace image, l'infinité de droites passant par ce point correspond à une seule droite dans l'espace de Hough

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (3/4)

• Soit deux points $M_1(x_1 y_1)$ $M_2(x_2 y_2)$

Espace image



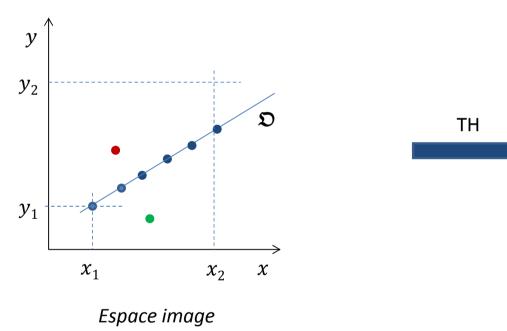


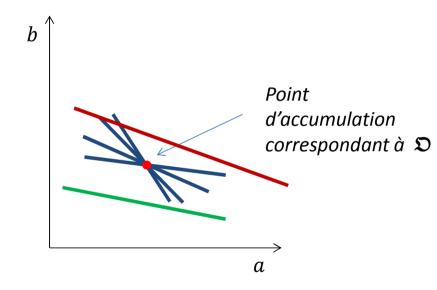
Espace de Hough = Espace des paramètres

L'ensemble des groupes de droites passant par chaque point sans l'espace image donnent 2 droites dans l'espace de Hough s'intersectant en un point unique: les paramètres de la droite passant par M1 et M2

DETECTION DE DROITES: PREMIERE APPROCHE (4/4)

Soit N points de l'espace images





Espace de Hough = Espace des paramètres

T

Tous les points alignés sur une droite S seront représentés dans l'espace de Hough par des droites concourantes en 1 points caractérisant S

DETECTION DE DROITES: BILAN

Méthodologie proposée

```
Pour chaque point du contour de l'objet
tracer la droite associée dans l'espace de Hough
```

Détecter les maxima locaux Tracer dans l'espace image les droites retenues

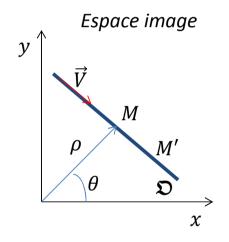
- Problèmes de cet espace de paramètres
 - L'espace *E*(*a*-*b*) n'a pas de limites!
 - Les lignes verticales requièrent une valeur du paramètre a infini!



Trouver une paramétrisation de la droite plus adéquat

DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (1/4)

Soit l'espace des paramètres $E(\rho, \theta)$

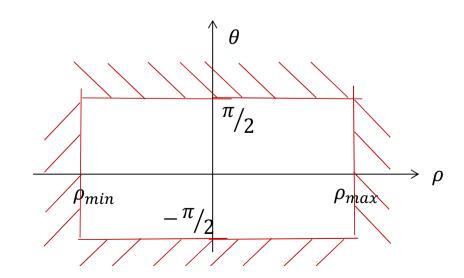


$$\mathfrak{D}: \{M, \vec{V}\} \longrightarrow \binom{x - \rho \cos \theta}{y - \rho \sin \theta}.\binom{\cos \theta}{\sin \theta} = 0 \longrightarrow \rho = x \cos \theta + y \sin \theta$$

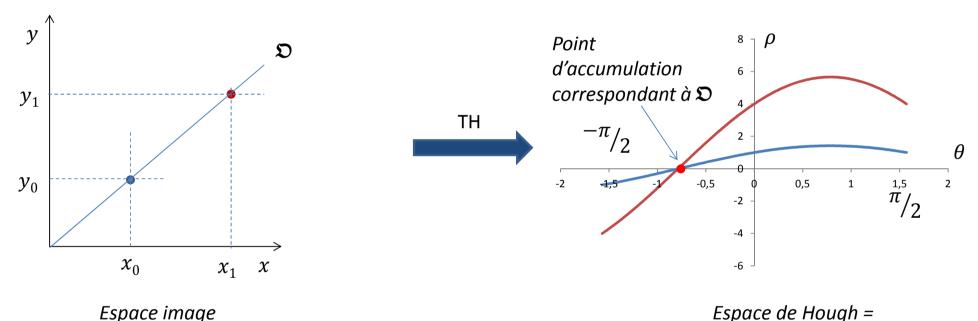
Ce nouvel espace est borné:

$$\rho \in [\rho_{min}, \rho_{max}]$$

$$\theta \in \left[-\pi/2, \pi/2\right]$$



DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (2/4)

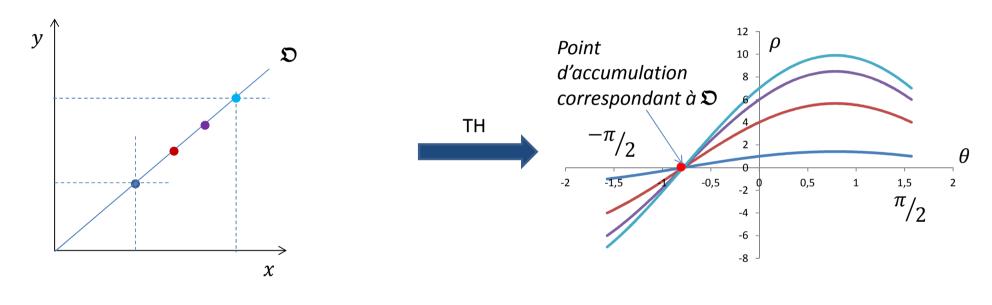


Espace des paramètres



Les points alignés sur une même droite donne lieu à une accumulation dans l'espace de Hough

DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (3/4)

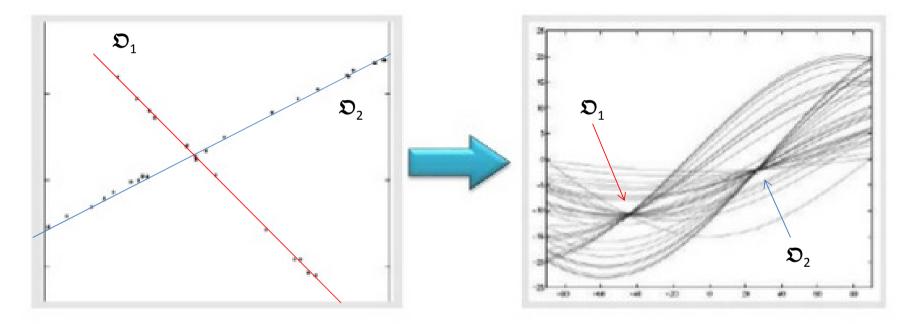


Espace image Espace de Hough = Espace des paramètres

Tous les points alignés sur une dte Seront représentés dans l'espace de Hough par des sinusoides s'intersectant en 1 points caractérisant S

DETECTION DE DROITES: SECONDE APPROCHE (4/4)

Exemple de la détection de deux droites



Les maxima n'ont pas nécessairement les mêmes amplitudes. C'est pourquoi il est important de détecter les différents maxima locaux et d'appliquer un critère de sélection (i.e. seuil)

DETECTION DE DROITES: BILAN

- Choix de l'échantillonnage de l'espace de Hough
 - θ allant de -90° à +90°,
 - ρ allant de $\pm N\sqrt{2}$ pour une image NxN (possibilité de le contraindre si connaissances a priori)
 - les pas sont à définir en fonction de la précision souhaitée
- Une approche simple mais présentant quelques limitations

Avantages	Inconvénients
Simple	La complexité augmente avec le nombre de paramètres décrivant la forme
Gestion des occlusions partielles	Un type d'objet à la fois
Robuste sur données bruitées	Dépendant de la qualité de l'extraction de contour
Adaptable à d'autres formes	Impossible de séparer des lignes parallèles

ALGORITHME ASSOCIE

Détecter les contours de l'image

Binariser (0,1) l'image

Initialiser l'accumulateur H à zero

Pour chaque point contour (x,y) de l'image Pour θ allant de 0 à 180

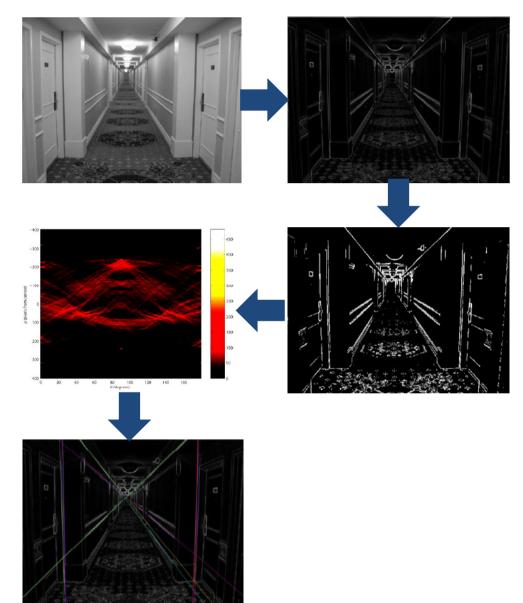
 $\rho = x.\cos\theta + y.\sin\theta$ $H(\theta, \rho) = H(\theta, \rho) + 1$

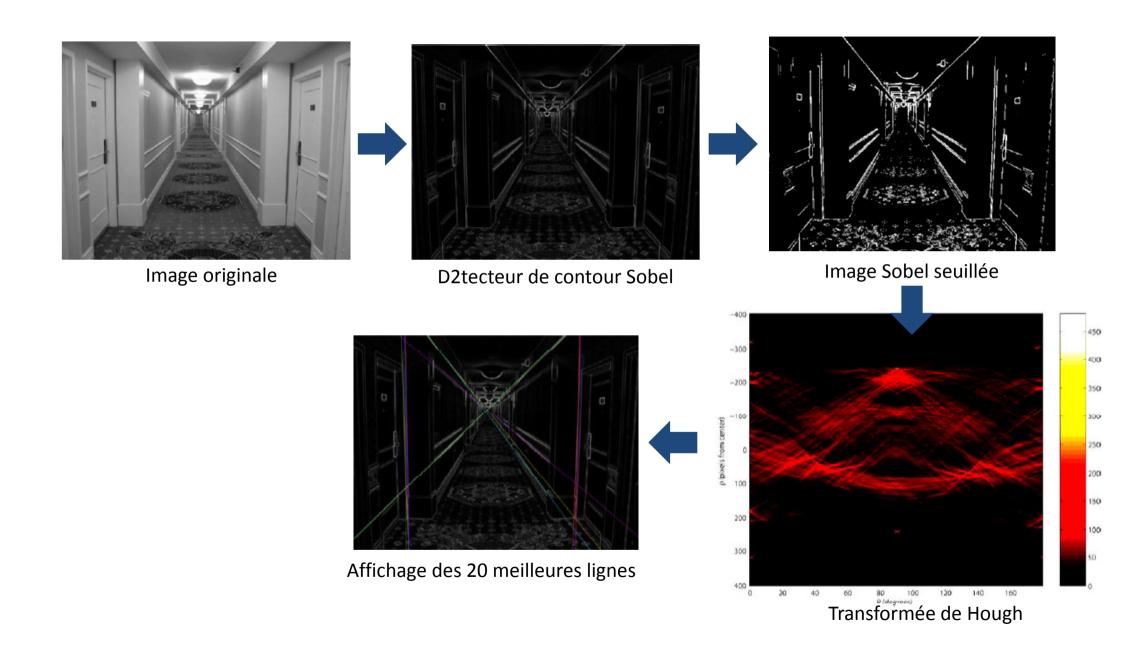
Fin pour

Fin pour

Pour θ allant de 0 à 180 Pour ρ allant de ρ min à ρ max Recherche maxima locaux

tracer la droite de paramètres (θ, ρ)





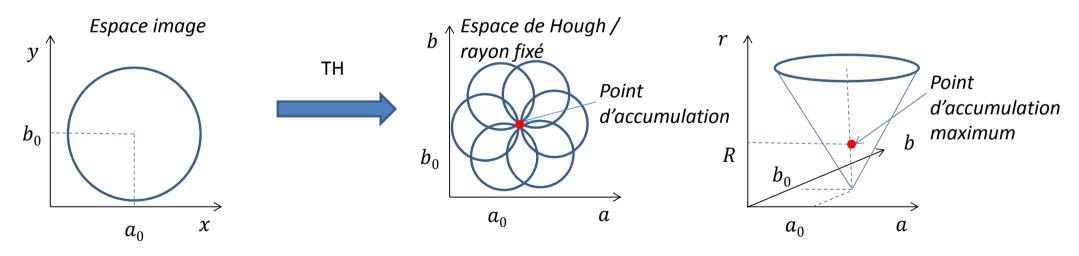
- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

APPLICATION A LA DETECTION DE CERCLES (1/2)

- L'approche est la même que pour les lignes, sauf que nous travaillons dans un espace de Hough 3D (au lieu de 2D)
- Soit un cercle d'équation

$$R^2 = (x - a)^2 + (y - b)^2$$

 Pour chaque point du contour, on trace dans l'espace de Hough un cercle dont le centre est ce point et le rayon r



ALGORITHME ASSOCIE

Détecter les contours de l'image

Binariser (0,1) l'image

Initialiser l'accumulateur H(x,y,r) à zero

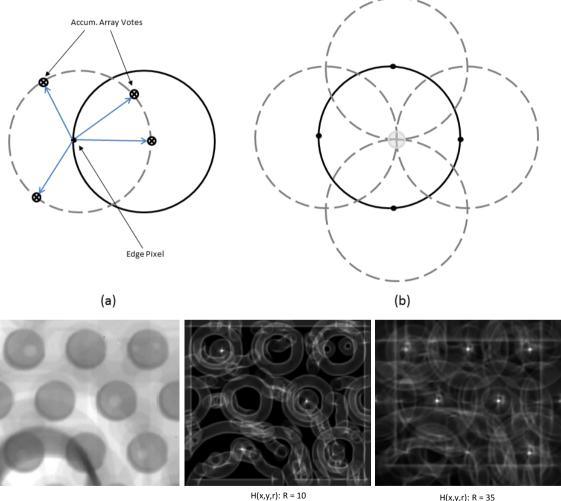
Pour chaque point contour (x,y) de l'image Pour r allant de r_{min} à r_{max} Tracer le cercle de centre (x,y) et de rayon r

Fin pour

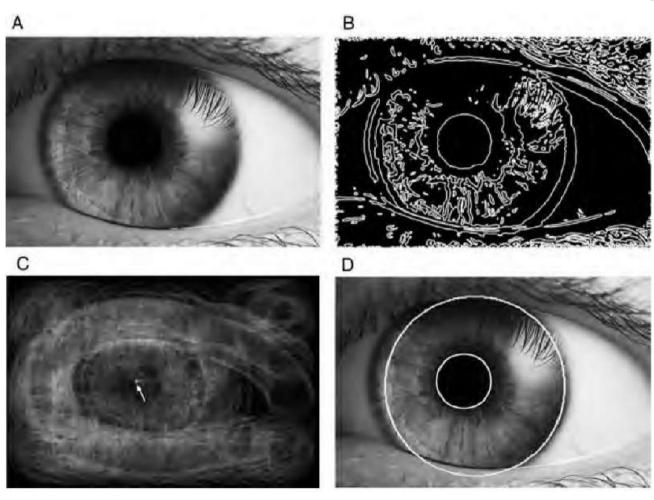
Fin pour

Pour r allant de r_{\min} à r_{\max} Pour y allant de y_{\min} à y_{\max} Pour y allant de x_{\min} à x_{\max} Recherche maxima locaux

tracer les cercles candidats



APPLICATION A LA DETECTION DE CERCLES (2/2)



APPLICATION A LA DETECTION DES ELLIPSES

- La caractérisation d'une ellipse nécessite 5 paramètres (centre, axes et orientation) contre 3 pour le cercle
- Afin de rendre l'approche plus simple, on procède à une réduction de la dimension de l'espace de recherche
- Une approche proposée par Xie (A new efficient ellipse detection method, International conference on Pattern recognition 12/2002, vol2(2)) permet de travailler sur un accumulateur de dimension 1



- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

OPTIMISATIONS

- Randomized Hough transform
 - Certaines courbes paramétriques peuvent être complètement définies par un nombre limité de points
 - On sélectionne des n-uplets de points aléatoires (ie triplets)
 - Parmi les points des contours, on ne prend que quelques points au total







Cas de droites: 2 points suffisent à définir une droite

Cas de ellipses: 3 points suffisent à définir une ellipse

Cas de cercles: 3 points suffisent à définir une cercle

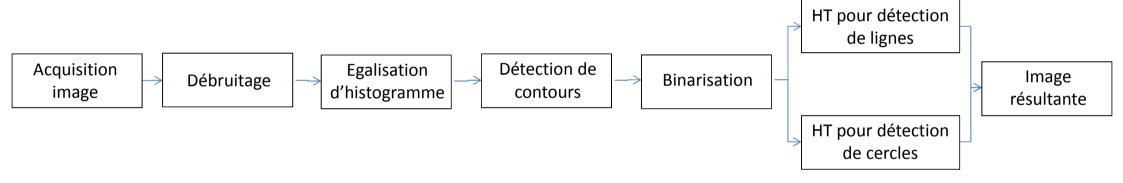
OPTIMISATIONS

- Gradient based Hough transform
 - Le but est de limiter l'espace de recherche
 - On calcule l'orientation du gradient au point considéré
 - On limite les angles à +/- 20° autour de la direction du gradient

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (1/5)

Workflow nécessaire pour traiter une image réelle



 Note importante: même si la transformée de Hough est robuste vis à vis du bruit, il reste important de pré-traiter les images afin d'obtenir le meilleur rapport contraste à bruit et les meilleurs contours avant d'utiliser un détecteur de contour

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (2/5)

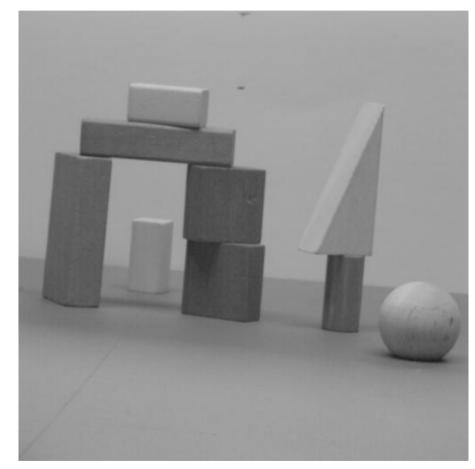


Image originale

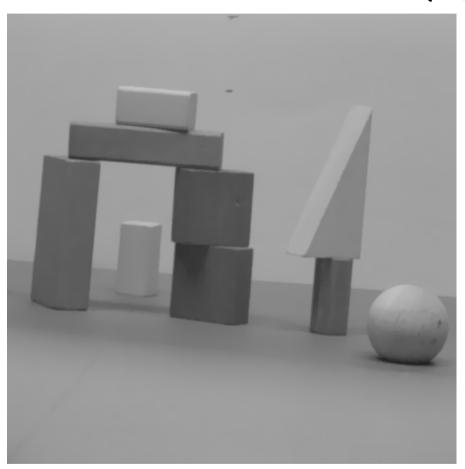
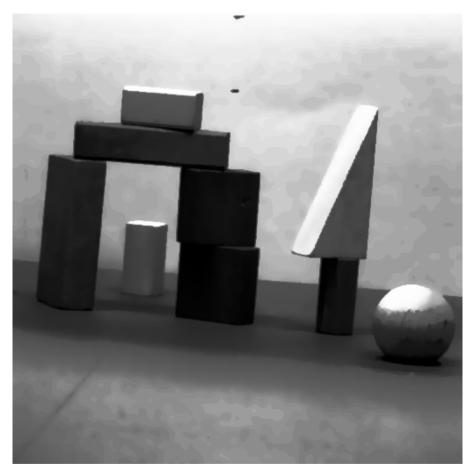
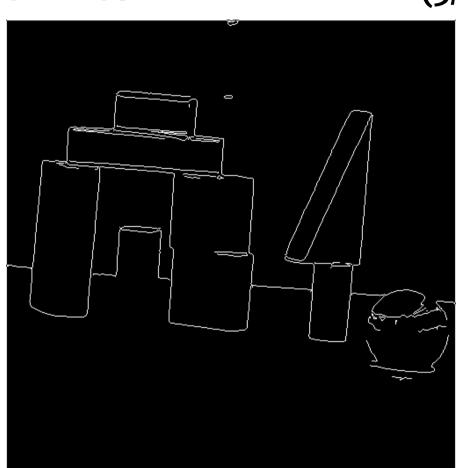


Image filtrée par un filtre bilatéral

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (3/5)

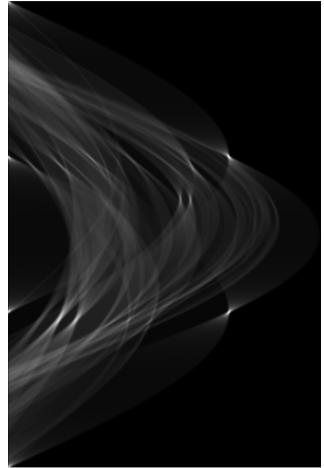


Amélioration des contrastes par égalisation d'histogramme

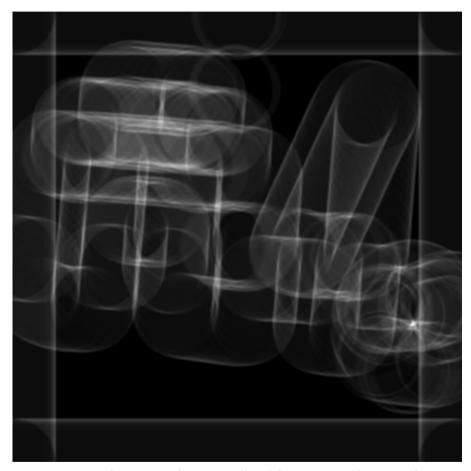


Détection des contours par un filtre de Sobel

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (4/5)

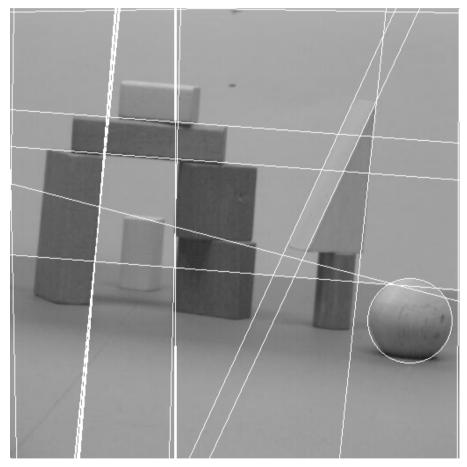


Espace de Hough pour la détection de lignes



Espace de Hough pour la détection de cercles

DETECTION DE FORMES DANS UNE SCENE COMPLEXE ET RELLE (5/5)

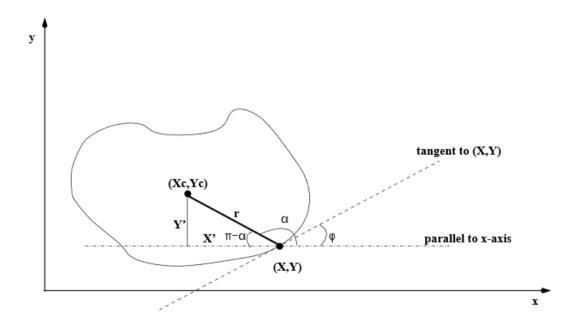


Résultat de la détection

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

TRANSFORMEE DE HOUGH GENERALISEE

- Introduite par Dana Ballard en 1981
- Elle s'appuie sur le principe du template matching
- Connaissant l'objet à retrouver (template), l'approche consiste à retrouver sa position, son orientation et son échelle dans l'image



$$x_c = x - s(x'cos\theta - y'sin\theta)$$

$$y_c = y - s(x'sin\theta + y'cos\theta)$$

TRANSFORMEE DE HOUGH GENERALISEE: ALGORITHME

Quantiser l'espace des paramètres

$$P[x_{c_{min}} \dots x_{c_{max}}][y_{c_{min}} \dots y_{c_{max}}][\theta_{c_{min}} \dots \theta_{c_{max}}][s_{c_{min}} \dots s_{c_{max}}]$$

Définition du template - Pour chaque point (x, y) du contour

Calculer la direction du gradient f

Calculer le vecteur formé par le point d'origine (x_c, y_c) et le point du contour (norme r et direction a)

Stocker les valeurs dans une table (R-table)

Balayage de l'objet - Pour chaque point (x,y) du contour

A partir de la direction du gradient ϕ , prendre dans la R-Table les couples (r,α)

Pour chaque (r, α) , calculer

$$x' = rcos(\alpha)$$
 et $y' = rsin(\alpha)$

Pour theta allant de thetamin à thetamax

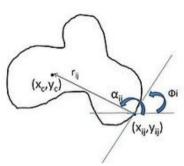
Pour s allant de smin à smax

calculer $x_c = x - s(x'\cos(\theta) - y'\sin(\theta))$

calculer $y_c = y - s(x' sin(\theta) + y' cos(\theta))$

 $P[x_c][y_c][\theta][s] += 1$

Les positions possibles du contour correspondent aux maxima locaux de $P[x_c][y_c][\theta][s]$



TRANSFORMEE DE HOUGH GENERALISEE: BILAN

Une approche simple mais présentant quelques limitations

Avantages	Inconvénients
Reconnaissance de formes quelconques non paramétriques définies par des descripteurs locaux	L'espace des paramètres nécessite un stockage important
Robuste vis à vis des occlusions partielles et des déformations faibles	Lenteur (optimisations possibles: approche hierarchique, projection)
Robuste sur données bruitées	
Robuste en présence de structures additionnelles	

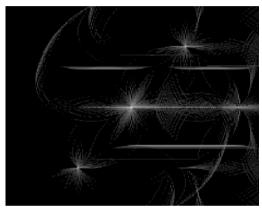
APPLICATION



Image binaire



Image binaire



Hough space



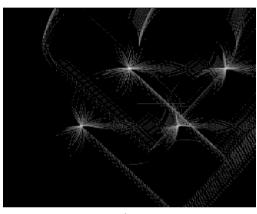
Hough space



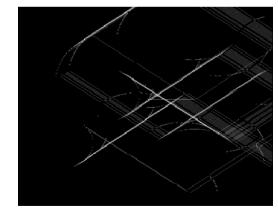
Image binaire



Image binaire



Hough space



Hough space

- Introduction
- Principe
- Détection de droites
- Détection de cercles et d'ellipses
- Optimisation
- Application sur image réelle
- Transformée de Hough généralisée
- Extension 3D

EXTENSION AUX OBJETS 3D

- Extension directe à des objets de dimensions 3:
 - Détection de plans d'équation

- Détection d'éllipsoides d'équation

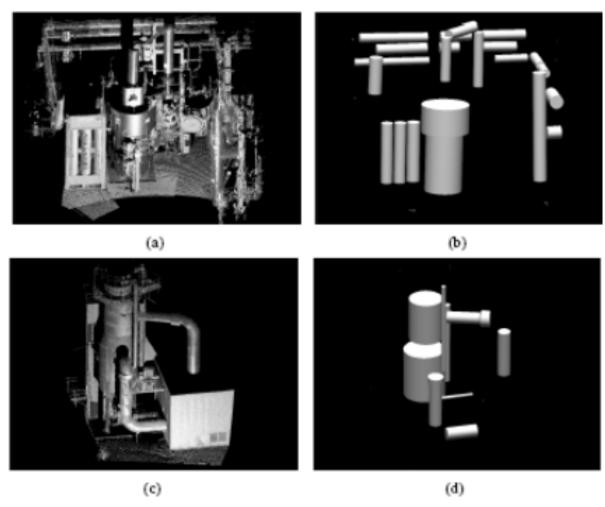
$$ax + by + cz = d$$

$$\left(\frac{x-a}{R}\right)^2 + \left(\frac{y-b}{R}\right)^2 + \left(\frac{z-c}{R}\right)^2 = 1$$

$$\left(\frac{x-a}{r_x}\right)^2 + \left(\frac{y-b}{r_y}\right)^2 + \left(\frac{z-c}{r_z}\right)^2 = 1$$

Les algorithmes nécessitent des optimisations d'implémentation permettant de réduire les dimensions de l'espace des paramètres

MODELISATION 3D TQC



Source: http://www.viztronics.com/tahir/data/research_overview/project.html