

# Course CVCis: Computer Vision with C#

## Chapter C5: The Fourier Recognition Project

Copyright © by V. Miszalok, last update: 13-01-2008

- ↘ [Projekt fourier\\_recogn1](#)
- ↘ [Seitenaufbau, Bildaufbau](#)
- ↘ [Threshold, Noise, Clear and Recognize](#)
- ↘ [Fouriertransformation, speichern von und vergleichen mit Prototypen](#)
- ↘ [Experimente](#)

### Projekt fourier\_recogn1

Main Menu nach dem Start von VS 2008: File → New Project... → Visual Studio installed templates: Windows Forms Application  
Name: fourier\_recogn1 → Location: C:\temp → Create directory for solution: ausschalten → OK

Sie müssen zwei überflüssige Files löschen: Form1.Designer.cs und Program.cs.  
Löschen Sie außerdem den gesamten Code von Form1.cs.

### Seitenaufbau, Bildaufbau

Schreiben in das leere Codefenster Form1.cs folgenden Code:

```
using System;
using System.Drawing;
using System.Windows.Forms;
using System.Collections;
using System.Text;
using System.IO;

public class Form1 : Form
{ [STAThread] static void Main() { Application.Run( new Form1() ); }
  const Int32 xSize = 16;
  const Int32 ySize = 16;
  const Int32 no_of_fourier_values = 8;
  Byte[,] i0      = new Byte[ySize ,xSize ];
  Brush[] brush   = new Brush[10];
  Brush blackbrush = SystemBrushes.ControlText;
  Brush redbrush  = new SolidBrush( Color.Red );
  Brush bluebrush = new SolidBrush( Color.Blue );
  Pen redpen1    = new Pen( Color.Red, 1 );
  Pen redpen5    = new Pen( Color.Red, 5 );
  Pen whitepen;
  Font arial10   = new Font( "Arial", 10 );
  Font arial20   = new Font( "Arial", 20 );

  Int32 i, j, x, y, dx, dy;
  Byte threshold = 1;
  Button[] button = new Button[ySize];
  TextBox textbox;
  Point p0, p1;
  struct crackcode { public Point start; public String cracks; }
  struct prototype { public char name; public float sum_of_deviations; }
  crackcode cc;
  char recogn_result;
  Graphics g;
  ArrayList pointArray = new ArrayList();
  float[] fr, fi;
```

```

public Form1()
{
    BackColor = Color.White;
    Text = "Simple Numeral Recognition";
    SetStyle( ControlStyles.ResizeRedraw, true );
    Width = 800;
    Height = 600;
    for ( i=0; i < 10; i++ )
        brush[i] = new SolidBrush( Color.FromArgb( i*25, i*25, i*25 ) );
    for ( y=0; y < ySize; y++ )
    {
        button[y] = new Button();
        Controls.Add( button[y] );
        button[y].BackColor = Color.Gray;
        button[y].Text = "nothing";
        button[y].Name = y.ToString();
        button[y].Click += new EventHandler( do_it );
    }
    button[0].Name = button[0].Text = "Recognize";
    button[1].Name = button[1].Text = "Teach As";
    button[2].Name = button[2].Text = "Clear";
    button[3].Name = "Threshold";
    button[4].Name = button[4].Text = "Noise";
    button[3].Text = String.Format( "Threshold={0:#}", threshold );
    textbox = new TextBox(); Controls.Add( textbox );
    cc.cracks = "";
}

protected override void OnPaint( PaintEventArgs e )
{
    g = e.Graphics;
    String s;
    Rectangle r = ClientRectangle;
    dx = r.Width / ( xSize+2 );
    dy = ( r.Height - 2 * FontHeight ) / ySize;
    for ( y=0; y < ySize; y++ )
    {
        button[y].Top = y*dy+1;
        button[y].Left = xSize*dx+1;
        if ( y != 1 ) button[y].Width = r.Width - button[y].Left - 2;
        else button[y].Width = r.Width - button[y].Left - 25;
        button[y].Height = dy-2;
    }
    textbox.Top = button[1].Top + ( button[1].Height - textbox.Height ) / 2;
    textbox.Left = button[1].Left + button[1].Width + 1;
    textbox.Width = button[0].Width - button[1].Width - 2;
    textbox.TextAlign = HorizontalAlignment.Center;
    for ( y=0; y < ySize; y++ )
        for ( x=0; x < xSize; x++ )
            g.FillRectangle( brush[i0[y,x]], x*dx, y*dy, dx, dy );
    for ( x=0; x < xSize; x++ ) g.DrawLine( redpen1, x*dx, 0, x*dx, ySize*dy );
    for ( y=0; y < ySize; y++ ) g.DrawLine( redpen1, 0, y*dy, xSize*dx, y*dy );
    if ( cc.cracks.Length == 0 )
    {
        s = "Draw a digit or a letter -> Recognize -> Teach As -> Clear -> Next";
        g.DrawString( s, arial10, redbrush, (xSize*dx)/4, 0 );
        return;
    }
    x = cc.start.X;
    y = cc.start.Y;
    for ( i = 0; i < cc.cracks.Length; i++ )
        switch ( cc.cracks[i] )
        {
            case 'e': g.DrawLine( redpen5, x*dx, y*dy, (x+1)*dx, y*dy ); x++; break;
            case 's': g.DrawLine( redpen5, x*dx, y*dy, x*dx, (y+1)*dy ); y++; break;
            case 'w': g.DrawLine( redpen5, x*dx, y*dy, (x-1)*dx, y*dy ); x--; break;
            case 'n': g.DrawLine( redpen5, x*dx, y*dy, x*dx, (y-1)*dy ); y--; break;
        }
    g.FillRectangle( bluebrush, x*dx-5, y*dy-5, 11, 11 );
    s = "This is a '" + recogn_result + "'.";
    g.DrawString( s, arial20, redbrush, 0, button[ySize-1].Top+button[ySize-1].Height+2 );
}

protected override void OnMouseDown( MouseEventArgs e )
{
    p0.X = e.X;
    p0.Y = e.Y;
    pointArray.Add(p0);
    whitepen = new Pen( Color.White, dx < dy ? dx : dy );
    whitepen.StartCap = whitepen.EndCap = System.Drawing.Drawing2D.LineCap.Round;
}

protected override void OnMouseMove( MouseEventArgs e )
{
    if ( e.Button == MouseButton.None ) return;
    p1.X = e.X;
    p1.Y = e.Y;
    //Insert an additional point if the distance is too far
    if ( Math.Abs( p1.X - p0.X ) >= dx || Math.Abs( p1.Y - p0.Y ) >= dy )
        pointArray.Add( new Point( (p1.X + p0.X)/2, (p1.Y + p0.Y)/2 ) );
    pointArray.Add( p1 );
    g = this.CreateGraphics();
    g.DrawLine( whitepen, p0, p1 );
    p0 = p1;
}
}

```

```
protected void do_it( object sender, System.EventArgs e )
{
    Invalidate();
} // end of protected void do_it( object sender, System.EventArgs e )
}
```

Klicken Sie Debug → Start Without Debugging Ctrl F5. Erproben Sie das Zeichnen einer Ziffer 0..9. Kein Button tut etwas.

## Threshold, Noise, Clear and Recognize

Version2: Beenden Sie Ihr Programm fourier\_recogn1.

Schreiben Sie folgende Cases in den Event Handler protected void do\_it(...), bis er so aussieht:

```
protected void do_it( object sender, System.EventArgs e )
{ switch( ((Button)sender).Name )
  { case "Threshold"://*****
    if ( ++threshold > 9 ) threshold = 1;
    button[3].Text = "Threshold=" + threshold.ToString();
    cc.cracks = ""; recogn_result = '?'; break;
  case "Noise"://*****
    Random random = new Random();
    for ( y=0; y < ySize; y++ )
      for ( x=0; x < xSize; x++ )
        { Int32 noise = random.Next() % 3 - 1;//gives -1 or 0 or +1
          noise += i0[y,x];//add former gray value
          if (noise < 0) i0[y,x] = 0;
          else if (noise > 9) i0[y,x] = 9;
          else i0[y,x] = (Byte)noise;
        }
    cc.cracks = ""; recogn_result = '?'; break;
  case "Clear"://*****
    for ( y=0; y < ySize; y++ )
      for ( x=0; x < xSize; x++ ) i0[y,x] = 0;
    threshold = 1; button[3].Text = "Threshold=1";
    cc.cracks = ""; pointArray.Clear(); recogn_result = '?'; break;
  case "Recognize"://*****
    //Digitize*****
    for ( i = 0; i < pointArray.Count; i++ )
      { Point vertex = (Point)pointArray[i];
        x = vertex.X / dx;
        y = vertex.Y / dy;
        try { if ( i0[y,x] < 9 ) i0[y,x]++; } catch{};
      }
    //Crack Code 8*****
    //Search for a vertical start crack
    Byte leftpix;
    for ( y=0; y < ySize; y++ )
      for ( x=0; x < xSize; x++ )
        { if ( x > 0 ) leftpix = i0[y,x-1]; else leftpix = 0;
          if ( leftpix < threshold && i0[y,x] >= threshold )
            { cc.start.X = x; cc.start.Y = y; goto start_crack_found; }
        }
    return; //nothing to start with
    start_crack_found: y++;
    ArrayList phil = new ArrayList(); phil.Add( -90 );
    System.Text.StringBuilder cracks = new System.Text.StringBuilder();
    cracks.Append( 's' );
    Char last_crack = 's';
    do
      { switch ( last_crack )
        { case 'e': if ( x == xSize ) { phil.Add(-90); goto n; }
              if ( y < ySize && i0[y ,x ] >= threshold) { phil.Add(+90); goto s; }
              if ( i0[y-1,x ] >= threshold) { phil.Add( 0); goto e; }
              { phil.Add(-90); goto n; }

          case 's': if ( y == ySize ) { phil.Add(-90); goto e; }
              if ( x > 0 && i0[y ,x-1] >= threshold) { phil.Add(+90); goto w; }
              if ( i0[y ,x ] >= threshold) { phil.Add( 0); goto s; }
              { phil.Add(-90); goto e; }

          case 'w': if ( x == 0 ) { phil.Add(-90); goto s; }
              if ( y > 0 && i0[y-1,x-1] >= threshold) { phil.Add(+90); goto n; }
              if ( i0[y ,x-1] >= threshold) { phil.Add( 0); goto w; }
              { phil.Add(-90); goto s; }

          case 'n': if ( y == 0 ) { phil.Add(-90); goto w; }
              if ( x < xSize && i0[y-1,x ] >= threshold) { phil.Add(+90); goto e; }
              if ( i0[y-1,x-1] >= threshold) { phil.Add( 0); goto n; }
        }
      }
  }
}
```

```

        { phil.Add(-90); goto w; }
    }
    e: last_crack = 'e'; cracks.Append( 'e' ); x++; continue;
    s: last_crack = 's'; cracks.Append( 's' ); y++; continue;
    w: last_crack = 'w'; cracks.Append( 'w' ); x--; continue;
    n: last_crack = 'n'; cracks.Append( 'n' ); y--; continue;
} while ( x != cc.start.X || y != cc.start.Y ); //end of do
cc.cracks = cracks.ToString();
break;
} // end of switch, end of all cases
Invalidate();
} // end of protected void do_it( object sender, System.EventArgs e )

```

Klicken Sie Debug → Start Without Debugging Ctrl F5. Malen Sie eine Ziffer 0..9 und erproben Sie die Buttons Recognize, Threshold, Noise und Clear. Button und Textfeld Teach As sind noch funktionslos.

## Fouriertransformation, speichern von und vergleichen mit Prototypen

Version3: Beenden Sie Ihr Programm `fourier_recogn1`.

Schreiben Sie folgenden zusätzlichen Code in Case Recognize **vor** dem letzten `break;` in der viertletzten Zeile im Event Handler `protected void do_it(...)`, vor der Zeile `} // end of switch, end of all cases:`

```

Int32 NN, N = cc.cracks.Length;
//Bad property of function phil: All phil[i] sum up to -360 degrees
float[] phi2 = new float[N];
float circular_angle_per_crack = 360.0f / N;
for ( i=0; i < N; i++ )//Construction of a phi2 with a sum of 0
{ phi2[i] = (Int32)phil[i] + circular_angle_per_crack;
  phi2[i] /= 10.0f;//not important, just to keep the fourier-values low
}
phil.Clear();
//Fourier Transform*****
fr = new float[N/2+1];
fi = new float[N/2+1];
FourierTransform( phi2, fr, fi );
//Compare the Fourier values with the prototypes stored by former teachings
StreamReader instream;
try { instream = new StreamReader( "FourierRecognitionPrototypes.txt" ); }
catch { recogn_result = '?'; break; } //there are no prototypes yet
ArrayList comparisons = new ArrayList();
prototype proto = new prototype();
if ( no_of_fourier_values < fr.Length ) NN = no_of_fourier_values; else NN = fr.Length;
string a_line;
while ( ( a_line = instream.ReadLine() ) != null )//new line
{ String[] s = a_line.Split( ' ', '/' );//split line into an array of substrings
  if ( s.Length < NN*2 + 1 ) continue;//not enough values in this line
  proto.name = (s[0])[0];//first character of the first substring
  proto.sum_of_deviations = 0;
  for ( i=0, j=1; i < NN; i++, j+=2 )
  { float fr2 = Convert.ToSingle( s[j] );
    float fi2 = Convert.ToSingle( s[j+1] );
    float dr = fr[i] - fr2;
    float di = fi[i] - fi2;
    proto.sum_of_deviations += dr*dr + di*di;
  }
  comparisons.Add(proto);
}
instream.Close();
float minimum = float.MaxValue;
for ( i=0; i < comparisons.Count; i++ )
{ proto = (prototype)comparisons[i];
  if ( proto.sum_of_deviations < minimum )
  { minimum = proto.sum_of_deviations;
    recogn_result = proto.name;
  }
}
comparisons.Clear();

```

Schreiben Sie folgenden neuen case in den Event Handler `protected void do_it(...)` unterhalb des vorhandenen letzten `break;`:

```
case "Teach As"://*****
Char c; String sfr, sfi;
try { c = textbox.Text[0]; } catch { break; }
if ( Char.IsWhiteSpace( c ) || Char.IsControl( c ) ) break;
MessageBox.Show( "The current shape will be stored as prototype of a " + textbox.Text,
    "Teaching a Shape", MessageBoxButtons.OKCancel );
recogn_result = textbox.Text[0]; // OnPaint(..) will write it in red: "This is a .."
StringBuilder newline = new StringBuilder();
newline.Append( textbox.Text + ": " );
if ( no_of_fourier_values < fr.Length ) NN = no_of_fourier_values; else NN = fr.Length;
for ( i=0; i < NN; i++ )
{ sfr = String.Format( "{0:F2}", fr[i] ); if ( sfr.Length < 5 ) sfr = "+" + sfr;
  sfi = String.Format( "{0:F2}", fi[i] ); if ( sfi.Length < 5 ) sfi = "+" + sfi;
  newline.Append( sfr + "/" + sfi + " " );
}
StreamWriter outstream = new StreamWriter( "FourierRecognitionPrototypes.txt", true );
outstream.WriteLine( newline );
outstream.Close();
textbox.Text = "";
break;
```

Schreiben Sie folgende neue Funktion unter die Klammer, die den Event Handler `protected void do_it(...)` abschließt, aber noch vor die allerletzte Klammer, die `public class Form1` abschließt:

```
private void FourierTransform( float[] a, float[] fr, float[] fi )
{ int Na = a.Length, Nf = fr.Length;
float sum_r, sum_i; fr[0] = fi[0] = 0;
for ( i=0; i < Na; i++ ) fr[0] += a[i]; fr[0] /= Na;//fr[0] is the average (always 0 here).
double dpi_div_N, x1_dpi_div_N, x2_x1_dpi_div_N;
dpi_div_N = 2 * Math.PI / Na;
for ( int x1 = 1; x1 < Nf; x1++ )
{ sum_r = sum_i = 0;
x1_dpi_div_N = (double)x1 * dpi_div_N;
for ( int x2 = 0; x2 < Na; x2++ )
{ x2_x1_dpi_div_N = (double)x2 * x1_dpi_div_N;
sum_r += a[x2] * (float)Math.Cos( -x2_x1_dpi_div_N );
sum_i += a[x2] * (float)Math.Sin( -x2_x1_dpi_div_N );
}
fr[x1] = 2 * sum_r / (float)Na;
fi[x1] = 2 * sum_i / (float)Na;
}
fr[Nf-1] /= 2; fi[Nf-1] /= 2;
} // end of FourierTransform
```

Klicken Sie `Debug` → `Start Without Debugging` `Ctrl F5`. Erproben Sie `fourier_recogn1`, indem Sie eine Ziffer zeichnen und `Recognize` klicken. Zunächst erkennt das Programm nichts, weil es noch keine Prototypen besitzt. Schreiben Sie nach der Falscherkennung die richtige Ziffer in das Textfeld rechts neben dem Button `Teach As` und klicken dann den Button `Teach As`. Sie erzeugen damit einen Prototypen in einer Zeile der Textdatei `FourierRecognitionPrototypes.txt`.

## Experimente

- (1) Öffnen Sie `C:\temp\fourier_recogn1\FourierRecognitionPrototypes.txt`. Diese Datei ist das Gedächtnis des Programms. Ziehen Sie das Editorfenster so in die Breite, dass in jeder Zeile ein Prototyp steht (ohne Zeilenumbruch). Es steht nun an jedem Zeilenanfang ein Character gefolgt von einem Doppelpunkt und dann 8 Spalten von Fourierkoeffizienten, jeweils Realteil und Imaginärteil durch Schrägstrich getrennt. `fr[0]/fi[0]` sind beide in jeder Zeile Null und deshalb redundant. `fr[0]` hat die anschauliche Bedeutung des Durchschnittswertes aller `phi2[i]`. `fi[i]` ist sowieso immer Null, wenn `pi2[i]` eine reelle Funktion ist. Löschen Sie alle Prototypenzeilen für eine 1, speichern Sie `FourierRecognitionPrototypes.txt` und zeichnen Sie eine 1. Das Programm wird die 1 nicht mehr erkennen, Sie müssen diese neu einlernen. Nach dem neuen einlernen öffnen Sie wieder `C:\temp\fourier_recogn1\FourierRecognitionPrototypes.txt` und Sie werden eine Prototypenzeile 1 als letzte Zeile vorfinden. Reihenfolge und Anzahl der Prototypen ist beliebig. Das Programm liest immer alle Zeilen. Wenn eine Zahl hartnäckig falsch erkannt wird, löschen Sie alle Prototypenzeilen mit der falschen Zahl. Wenn Sie `FourierRecognitionPrototypes.txt` vollständig löschen (incl. aller unsichtbaren Blanks und Zeilentrenner !), dann hat das Programm alles gelernte vergessen.
- (2) Trainieren Sie mehrfach die gleiche Ziffer und untersuchen Sie die Variabilität der Fourierkoeffizienten dieser Ziffer.
- (3) Trainieren Sie zusätzlich zu den Ziffern 0 .. 9 die Buchstaben C, H, X, Y, I und die Sonderzeichen +, - und sogar ein einzelnes Pixel als Punkt ".".
- (4) Trainieren Sie den Buchstaben "Z" und untersuchen Sie dessen Kollision mit der "2", ebenso die Kollisionen von "6" und "b" und von "5" und "S" etc.
- (5) Zur Erhöhung der Trennschärfe erhöhen Sie die Ortsauflösung von `const Int32 xSize = 16;` und `const Int32 ySize = 16;` auf 20 und höher.
- (6) Untersuchen Sie, ob die Erhöhung der Anzahl der gespeicherten Fourierkoeffizienten von `const Int32 no_of_fourier_values = 8;` auf 10 und höher eine bessere Trennschärfe bringt.
- (7) Das Programm kann nur eine Kontur verwerten. Es ist also ungeeignet für Buchstaben mit zwei oder mehr Konturen wie "i" oder "ü" und wenig geeignet für Zeichen mit Innenkonturen wie "6", "8", "B", "P" etc. Versuchen Sie die Methoden für bis zu 3 Konturen aus Course CVCis, Chapter C3: The simple Recognition Project zu integrieren.
- (8) `phi1[i]` kodieren die absoluten Winkeländerungen, `phi2[i]` aber nur noch die Änderungen, die von der Kreisform abweichen. Ein Teil dieser Buchstaben wird als Ziffern erkannt. Setzen Sie einen Breakpoint auf die Zeile 175 in `protected void do_it( object sender, System.EventArgs e) im Case Recognize`. Die Zeile heißt: `if ( all_crackcodes.Count == 2 )`. Dann starten Sie das Programm mit F5 (=Start im Debugging Mode), zeichnen Sie , drücken die Buttons Digitize, Crack Code 8 und Recognize. Das Programm wird an dieser Zeile stoppen und die Zeile gelb markieren. Drücken sie nun F11 und das Programm wird die nächste Zeile ausführen. Drücken Sie weiter F11, bis eine Ziffer erkannt wird. Dann untersuchen Sie die Erkennungsbedingung. Beenden Sie den Debugger mit Shift F5. Versuchen Sie die Erkennungsbedingung so zu ändern, dass eine Fehlerkennung unterbleibt. Aber Vorsicht: Meistens hat das üble Konsequenzen bei anderen Ziffern, die nicht gemeint sind. Jedenfalls sollten Sie versuchen, die Erkennung intelligenter zu machen, auch wenn das zunächst ins Chaos führt.