Zaawansowane systemy programowania grafiki. Shadery Geometrii

Aleksander Denisiuk
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
Olsztyn, ul. Słoneczna 54
denisjuk@matman.uwm.edu.pl

13 kwietnia 2021

Shadery Geometrii

Najnowsza wersja tego dokumentu dostępna jest pod adresem

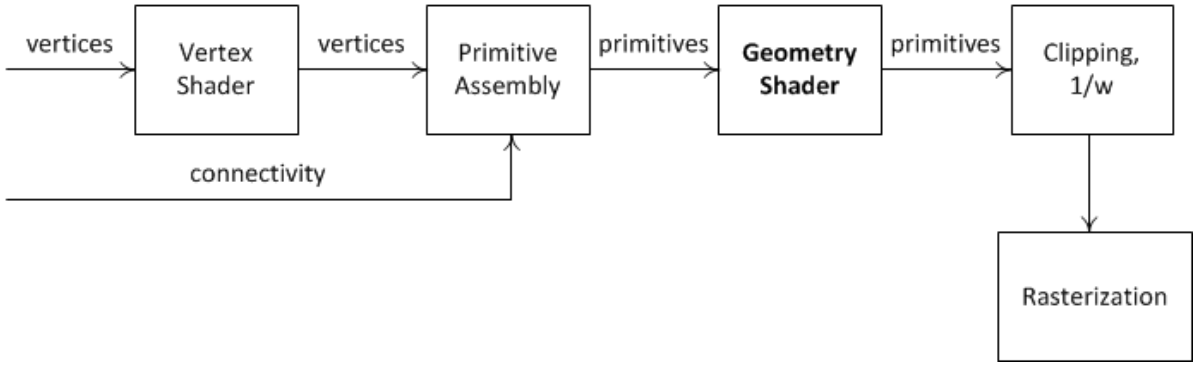
http://wmii.uwm.edu.pl/~denisjuk/uwm

Shader geometrii

Wstęp

- Między shaderem wierzchołków a shaderem fragmentów
- Każdy prymityw graficzny
- Na wejściu prymityw graficzny (`points`, `lines`, etc)
- Na wyjściu nowy prymityw graficzny

Potok renderingu



Nowe prymitywy graficzne

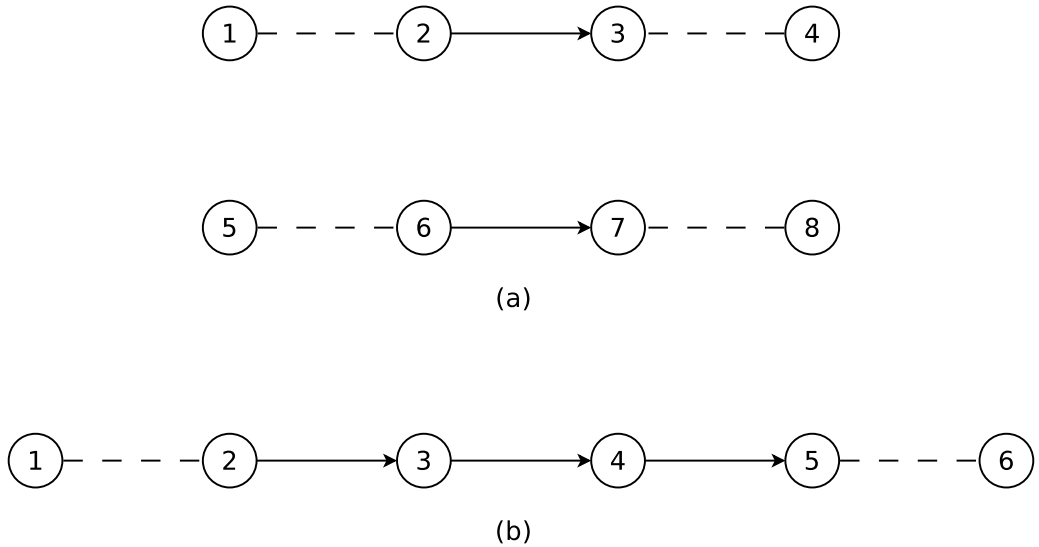


Figure 2.4. Lines with adjacency (a) and line strips with adjacency (b). The vertices connected with solid lines belong to the main primitives; the vertices connected by dashed lines are the adjacent vertices that may be used in a geometry shader.

Triangles with adjacency

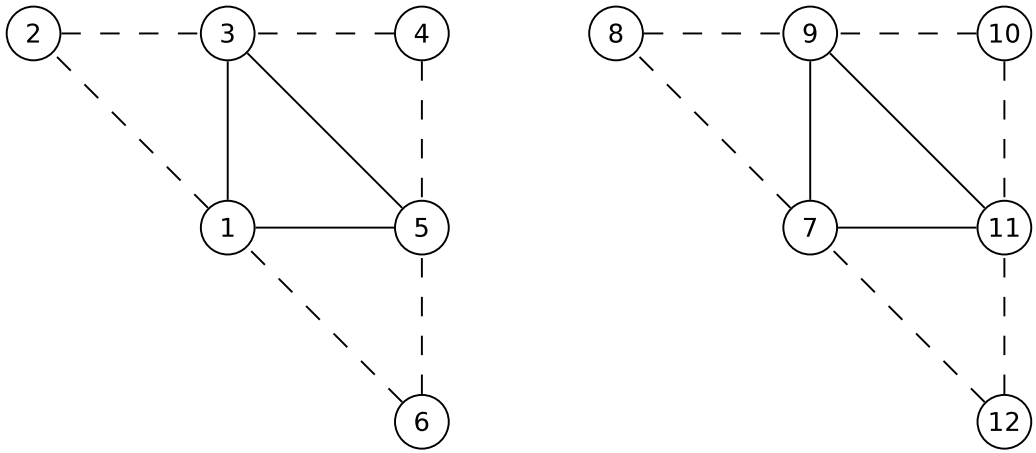


Figure 2.5. Triangles with adjacency. The vertices connected with solid lines belong to the main primitive; the vertices connected by dashed lines are the adjacent vertices that may be used in a geometry shader.

Triangle strip with adjacency

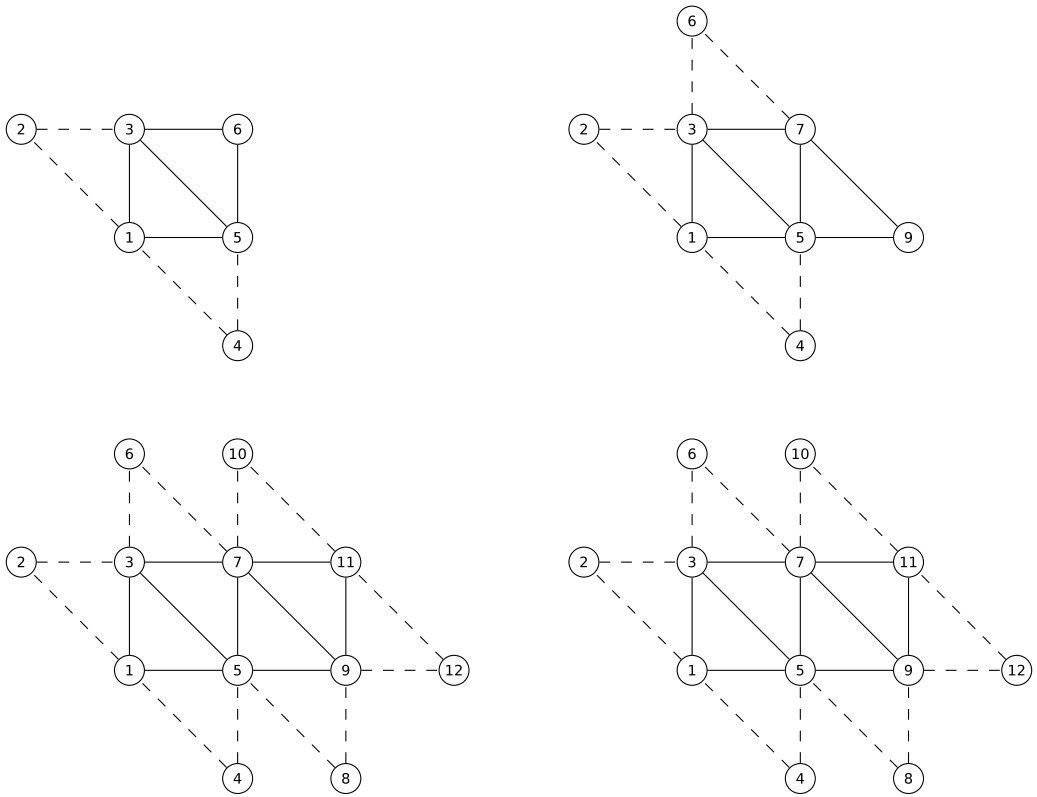


Figure 2.6. Triangle strips with adjacency. The vertices connected with solid lines belong to the main primitives; the vertices connected by dashed lines are the adjacent vertices that may be used in a geometry shader.

Wejście i tryb

- `points` $\Leftarrow$ `GL_POINTS`
- `lines` $\Leftarrow$ `GL_LINES`, `GL_LINE_STRIP`, `GL_LINE_LOOP`
- `triangles` $\Leftarrow$ `GL_TRIANGLES`, `GL_TRIANGLE_STRIP`, `GL_TRIANGLE_FAN`
- `lines_adjacency` $\Leftarrow$ `GL_LINES_ADJACENCY`, `GL_LINE_STRIP_ADJACENCY`
- `triangles_adjacency` $\Leftarrow$ `GL_TRIANGLES_ADJACENCY`, `GL_TRIANGLE_STRIP_ADJACENCY`
- przykład:

```
layout(triangles) in;
```

Wyjście

- `points`
- `line_strip`
- `triangle_strip`
- przykład:

```
layout(triangle_strip) out;
```

Maksymalna ilość wyemitowanych wierzchołków


```
layout(max_vertices=4) out;
layout(triangle_strip, max_vertices=4) out;
```

- ograniczenie (nie mniej niż 256), przykładowo 1024

```
glGetIntegerv(GL_MAX_GEOMETRY_OUTPUT_VERTICES)
```

Ilość wywołań


```
layout(invocations = 5) in;
```

- od OpenGL 4.0
- `gl_InvocationID`

Zmienne wejściowe


```
gl_in[]
gl_PrimitiveIDIn
gl_InvocationID
```

Tablica `gl_in[]`


```
gl_Position
gl_PointSize
gl_ClipDistance []
```

Przekazywanie informacji z shadera wierzchołków

- w shaderze wierzchołków

```
out vec3 normal;
```

- w shaderze geometrii

```
in vec3 normal[];
```

Zmienne uniform

- shader geometrii ma dostęp do zmiennych uniform

Wynik

- `gl_Position`
- `gl_PointSize`
- `gl_ClipDistance[]`
- `gl_PrimitiveID`
- `gl_Layer`
- `gl_ViewportIndex`

Wyjściowe zmienne


```
out       vec3 vertexNormal;
flat out  vec3 faceNormal;
```

- `flat` nie interpoluje się

  ```
  glProvokingVertex(GL_FIRST_VERTEX_CONVENTION)
  glProvokingVertex(GL_LAST_VERTEX_CONVENTION)
  ```

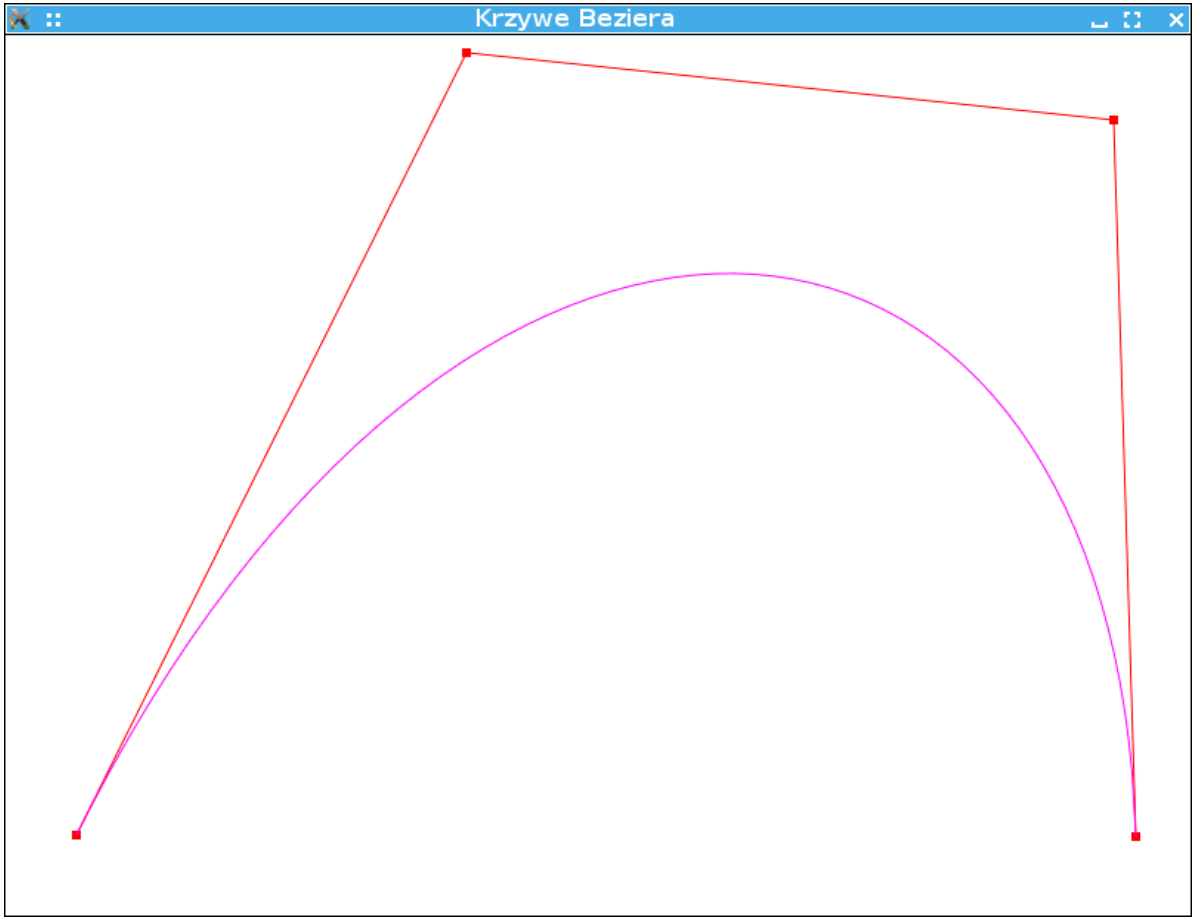
- po każdym `EmitVertex()` wartości zmiennych są nieokreślone

Podsumowanie

- za pomocą shadera geometrii można:
  - filtrować prymitywy
  - zmieniać typ prymitywu
  - rozdzielać prymitywy po warstwach tekstury sześcianowej (tworzyć kopie warstw)
  - obliczać parametry, dotyczące całego prymitywa (wektor normalny do ściany)
  - dla prymitywów z przyleganiem można obliczyć dla wierzchołków wektory styczne i normalne
  - utworzyć nową geometrię, nie jest zalecane tworzenie dużej ilości nowych wierzchołków
    - dla generacji dużych ilości nowej geometrii używa się shaderów tesselacji (*tesselation control shader*, *tesselation evaluation shader*), dostępnych od OpenGL 4.0

Zastosowanie: krzywe Béziera

Przykład zastosowania: krzywe Béziera



Program

- Wyświetla poszczególne punkty, zaznaczone myszką
- Łączy je łamaną
- Jak są już cztery punkty, wyświetla krzywą Béziera

Shader Wierzchołków


```
#version 430

layout(location=0) in vec2 in_position;

out vec4 color;

void main(void){
  gl_Position = vec4(in_position,0,1);
  color = vec4(1,0,0,1);
}
```

Shader Fragmentów


```
in vec4 color;
out vec4 out_color;

void main(void){
    out_color = color;
}
```

Shader Geometrii


```
#version 430

layout (lines_adjacency) in;
layout (line_strip, max_vertices=65) out;

out vec4 color;

void main(void){
  int i;
  color=vec4(1,0,1,1);

  gl_Position = gl_in[0].gl_Position;
  EmitVertex();

.............................
```

Algorytm de Casteljau

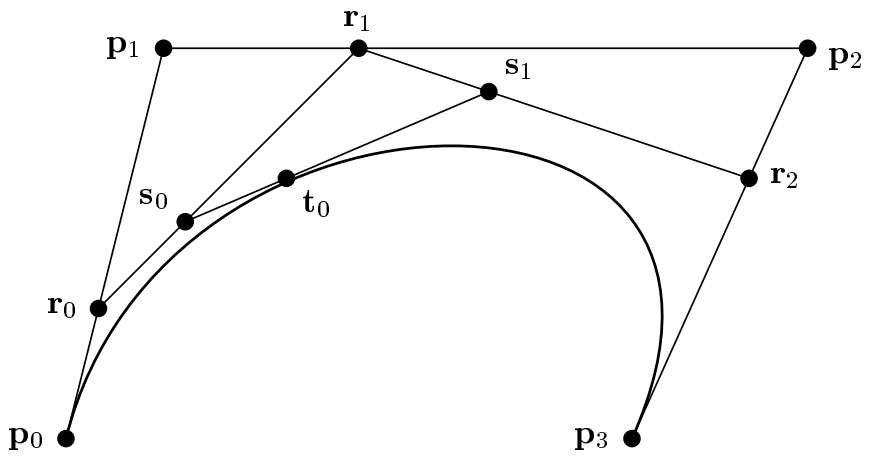


Figure VII.4: The de Casteljau method for computing $\mathbf{q}(u)$ for $\mathbf{q}$ a degree three Bézier curve. This illustrates the $u = 1/3$ case.

Algorytm de Casteljau. Implementacja


```
vec4 r0, r1, r2, s0, s1;
float u=0.0, h=1.0/64.0;
for(i=1; i<64; i++){ u +=h;
 r0=mix(gl_in[0].gl_Position,
        gl_in[1].gl_Position,u);
 r1=mix(gl_in[1].gl_Position,
        gl_in[2].gl_Position,u);
 r2=mix(gl_in[2].gl_Position,
        gl_in[3].gl_Position,u);
 s0=mix(r0, r1, u); s1=mix(r1, r2, u);
 gl_Position = mix(s0, s1, u);
 EmitVertex();
}
gl_Position = gl_in[3].gl_Position;
EmitVertex();
EndPrimitive();
}
```

Klasa Bezier


```
class Bezier{
 public:
    void Initialize();
    void Draw(const BezierProgram & );
    ~Bezier();
    Bezier(void);
    void AddPoint(GLfloat*v);

 private:
    GLuint max_points_;
    GLuint num_points_;
    GLuint vertices_;

    GLuint vao_;
    GLuint vertex_buffer_;
};
```

Konstruktor


```
Bezier::Bezier(void){
    max_points_=4;
    num_points_=0;
}
```

Inicjalizacja


```
glGenVertexArrays(1, &vao_);
glBindVertexArray(vao_);

glGenBuffers(1, &vertex_buffer_);
glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vertex_buffer_);
glBufferData(GL_ARRAY_BUFFER,
   max_points_*2*sizeof(GLfloat),
   NULL, GL_DYNAMIC_DRAW);
glVertexAttribPointer(0, 2, GL_FLOAT,
        GL_FALSE, 0, (GLvoid*)0);
glEnableVertexAttribArray(0);

glBindVertexArray(0);
```

Dodanie punktu


```
void Bezier::AddPoint( GLfloat*v ){
 if(num_points_ < max_points_){
  glBindVertexArray(vao_);
  glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, vertex_buffer_);
  glBufferSubData(GL_ARRAY_BUFFER,
      (num_points_++)*2*sizeof(GLfloat),
     2*sizeof(GLfloat), v);
  glBindVertexArray(0);
 }
}
```

Wyświetlenie. Linie i punkty


```
void Bezier::Draw(const BezierProgram &program){
    glBindVertexArray(vao_);
    glUseProgram( program.GetLineProgram() );
    glPointSize(8);
    glDrawArrays(GL_POINTS, 0, num_points_);
    glPointSize(1);
    glDrawArrays(GL_LINE_STRIP, 0, num_points_);

 ..............................
```

Rozmiar punktu

- W programie

```
glPointSize(n);
```

- Alternatywnie: w shaderze

```
gl_PointSize = n;
```

  - ✦ powinien być aktywowany tryb

```
glEnable(GL_PROGRAM_POINT_SIZE);
```

Wyświetlenie. Krzywa


```
.................................
 if(num_points_ == max_points_){
   glUseProgram( program.GetBezierProgram() );
   glDrawArrays(GL_LINES_ADJACENCY, 0,
                                    num_points_);
 }
 glBindVertexArray(0);
 glUseProgram(0);
}
```

Destruktor


```
Bezier::~Bezier(){
    glBindVertexArray(vao_);
    glDisableVertexAttribArray(0);
    glBindBuffer(GL_ARRAY_BUFFER, 0);
    glDeleteBuffers(1, &vertices_);
    glBindVertexArray(0);
    glDeleteVertexArrays(1, &vao_);
}
```

Klasa `BezierProgram`, dane prywatne


```
class BezierProgram{
private:
  GLuint line_program_;
  GLuint bezier_program_;

  GLuint vertex_shader_;
  GLuint fragment_shader_;
  GLuint geometry_shader_;

  GLuint LoadAndCompileShaderOrDie(
    const char* source_file, GLenum type);
  GLuint LinkProgramOrDie(
    GLint vertex_shader,
    GLint fragment_shader,
    GLint geometry_shader=0);

.............................
```

Klasa `BezierProgram`, dane publiczne


```
 ..............................
public:
    void Initialize(const char *vertex,
        const char *fragment,
        const char *geometry)
    ~BezierProgram();

    GLuint GetLineProgram() const{
            return line_program_;
           }
    GLuint GetBezierProgram() const{
            return bezier_program_;
           }
};
```

Inicjalizacja


```
void Program::Initialize(const char *vertex,
const char *fragment, const char *geometry){
  initializeOpenGLFunctions();
  vertex_shader_
    = LoadAndCompileShaderOrDie(vertex,
                  GL_VERTEX_SHADER);
  fragment_shader_
    = LoadAndCompileShaderOrDie(fragment,
                  GL_FRAGMENT_SHADER);
  geometry_shader_
    = LoadAndCompileShaderOrDie(geometry,
                  GL_GEOMETRY_SHADER);
  program_ = LinkProgramOrDie(vertex_shader_,
                  fragment_shader_);
  bezier_program_ = LinkProgramOrDie(
    vertex_shader_, fragment_shader_,
    geometry_shader_);
}
```

Linkowanie


```
GLuint BezierProgram::LinkProgramOrDie(
 GLint vertex_shader,
 GLint fragment_shader,
 GLint geometry_shader){
  GLuint new_program = glCreateProgram();
  glAttachShader(new_program, vertex_shader);
  glAttachShader(new_program, fragment_shader);
  if (geometry_shader>0)
      glAttachShader(new_program,
                     geometry_shader);
  glLinkProgram(new_program);

 ..............................
```

Destruktor. Odłączenie shaderów


```
glUseProgram(0);
 glDetachShader(line_program_, vertex_shader_);
 glDetachShader(line_program_,
                                fragment_shader_);

 glDetachShader(bezier_program_,
                                vertex_shader_);
 glDetachShader(bezier_program_,
                                fragment_shader_);
 glDetachShader(bezier_program_,
                                geometry_shader_);

 ..............................
```

Destruktor. Usuwanie programów


```
.....................................
  glDeleteShader(geometry_shader_);
  glDeleteShader(fragment_shader_);
  glDeleteShader(vertex_shader_);

  glDeleteProgram(line_program_);
  glDeleteProgram(bezier_program_);
}
```

Klasa `Window`. Kliknięcie


```
void Window::MouseButton(int button,
        int action, int /*mods*/) {
  if (button == GLFW_MOUSE_BUTTON_LEFT) {
    if (action == GLFW_RELEASE) {
      GLfloat x_y_pos[2];
      double x_pos, y_pos;
      glfwGetCursorPos(*this, &x_pos, &y_pos);
      x_y_pos[0]
          = (float)x_pos*2.0f/width_ - 1.0f;
      x_y_pos[1]
          =  -(float)y_pos*2.0f/height_ + 1.0f;
      bezier_.AddPoint(x_y_pos);
    }
  }
}
```

Splajn Catmulla-Roma

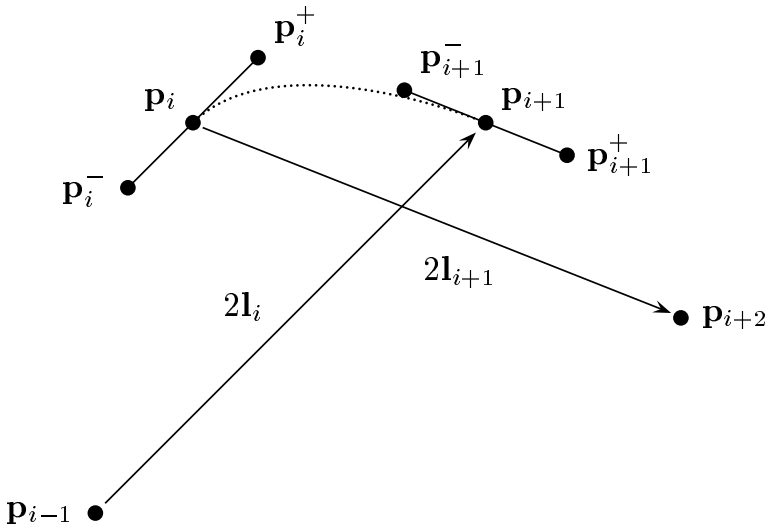


Figure VII.22: Defining the Catmull-Rom spline segment from the point $\mathbf{p}_i$ to the point $\mathbf{p}_{i+1}$. The points $\mathbf{p}_i^-$, $\mathbf{p}_i$, and $\mathbf{p}_i^+$ are collinear and parallel to $\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_{i-1}$. The points $\mathbf{p}_i$, $\mathbf{p}_i^+$, $\mathbf{p}_{i+1}^-$, and $\mathbf{p}_{i+1}$ form the control points of a degree three Bézier curve, which is shown as a dotted curve.

$$l_i = \frac{p_{i+1} - p_{i-1}}{2}, \quad p_i^{\pm} = p_i \pm \frac{1}{2} l_i$$