

Raytracing - Rust Proseminar

Sami Shalayel, Daniel Freiermuth, Carl Schwan

Overview

- ▶ Projektstruktur
- ▶ Rustfeatures
- ▶ Downsides
- ▶ Lessons learned

Projektstruktur

- ▶ Objekte und Gruppen von Objekten sind „Interceptable“

Projektstruktur

- ▶ Objekte und Gruppen von Objekten sind „Interceptable“
- ▶ Aussehen sind Shader

Projektstruktur

- ▶ Objekte und Gruppen von Objekten sind „Interceptable“
- ▶ Aussehen sind Shader
- ▶ Alles liegt in der „Welt“

Projektstruktur

- ▶ Objekte und Gruppen von Objekten sind „Interceptable“
- ▶ Aussehen sind Shader
- ▶ Alles liegt in der „Welt“
- ▶ Camera : Projektion der „Welt“

Projektstruktur

- ▶ Objekte und Gruppen von Objekten sind „Interceptable“
- ▶ Aussehen sind Shader
- ▶ Alles liegt in der „Welt“
- ▶ Camera : Projektion der „Welt“
- ▶ BVStorage : Beschleunigungsstruktur

Projektstruktur : Interceptable Trait

Interceptable Trait

Wir können alles rendern, was den „Interceptable“-Trait implementiert :

```
pub trait Interceptable {  
    fn intercept(&self, ray: &Ray)  
        -> Option<(f64, Intersection)>;  
}
```


Projektstruktur : Interceptable Trait

Interceptable Trait

Wir können alles rendern, was den „Interceptable“-Trait implementiert :

```
pub trait Interceptable {  
    fn intercept(&self, ray: &Ray)  
        -> Option<(f64, Intersection)>;  
}
```

Dieser gibt an, ob, wo und wie das Objekt von einem Lichtstrahl getroffen wird.

Projektstruktur : Interceptable Trait

Interceptable Trait

Wir können alles rendern, was den „Interceptable“-Trait implementiert :

```
pub trait Interceptable {  
    fn intercept(&self, ray: &Ray)  
        -> Option<(f64, Intersection)>;  
}
```

Dieser gibt an, ob, wo und wie das Objekt von einem Lichtstrahl getroffen wird.

Beispiele für „Interceptable“:

- ▶ Kugeln

Projektstruktur : Interceptable Trait

Interceptable Trait

Wir können alles rendern, was den „Interceptable“-Trait implementiert :

```
pub trait Interceptable {  
    fn intercept(&self, ray: &Ray)  
        -> Option<(f64, Intersection)>;  
}
```

Dieser gibt an, ob, wo und wie das Objekt von einem Lichtstrahl getroffen wird.

Beispiele für „Interceptable“:

- ▶ Kugeln
- ▶ Ebenen

Projektstruktur : Interceptable Trait

Interceptable Trait

Wir können alles rendern, was den „Interceptable“-Trait implementiert :

```
pub trait Interceptable {  
    fn intercept(&self, ray: &Ray)  
        -> Option<(f64, Intersection)>;  
}
```

Dieser gibt an, ob, wo und wie das Objekt von einem Lichtstrahl getroffen wird.

Beispiele für „Interceptable“:

- ▶ Kugeln
- ▶ Ebenen
- ▶ Dreiecke

Projektstruktur : Interceptable Trait

Interceptable Trait

Wir können alles rendern, was den „Interceptable“-Trait implementiert :

```
pub trait Interceptable {  
    fn intercept(&self, ray: &Ray)  
        -> Option<(f64, Intersection)>;  
}
```

Dieser gibt an, ob, wo und wie das Objekt von einem Lichtstrahl getroffen wird.

Beispiele für „Interceptable“:

- ▶ Kugeln
- ▶ Ebenen
- ▶ Dreiecke
- ▶ Beschleunigungsstrukturen

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

```
pub trait Shader {  
    fn get_appearance_for(  
        &self, int_pos: Vector3<f64>, ray_dir: Vector3<f64>,  
        surface_normal: Vector3<f64>, world: &World,  
        uv_pos: Vector2<f64>, rec_depth: f64,  
    ) -> Vector3<f64>;  
}
```

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

```
pub trait Shader {  
    fn get_appearance_for(  
        &self, int_pos: Vector3<f64>, ray_dir: Vector3<f64>,  
        surface_normal: Vector3<f64>, world: &World,  
        uv_pos: Vector2<f64>, rec_depth: f64,  
    ) -> Vector3<f64>;  
}
```

Wir haben folgende Shader implementiert :

- Monochrome shader : Nur eine Farbe

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

```
pub trait Shader {  
    fn get_appearance_for(  
        &self, int_pos: Vector3<f64>, ray_dir: Vector3<f64>,  
        surface_normal: Vector3<f64>, world: &World,  
        uv_pos: Vector2<f64>, rec_depth: f64,  
    ) -> Vector3<f64>;  
}
```

Wir haben folgende Shader implementiert :

- ▶ Monochrome shader : Nur eine Farbe
- ▶ Diffuse shader : Diffuses Licht

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

```
pub trait Shader {  
    fn get_appearance_for(  
        &self, int_pos: Vector3<f64>, ray_dir: Vector3<f64>,  
        surface_normal: Vector3<f64>, world: &World,  
        uv_pos: Vector2<f64>, rec_depth: f64,  
    ) -> Vector3<f64>;  
}
```

Wir haben folgende Shader implementiert :

- ▶ Monochrome shader : Nur eine Farbe
- ▶ Diffuse shader : Diffuses Licht
- ▶ Mirror shader : Spiegelt Licht zurück

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

```
pub trait Shader {  
    fn get_appearance_for(  
        &self, int_pos: Vector3<f64>, ray_dir: Vector3<f64>,  
        surface_normal: Vector3<f64>, world: &World,  
        uv_pos: Vector2<f64>, rec_depth: f64,  
    ) -> Vector3<f64>;  
}
```

Wir haben folgende Shader implementiert :

- ▶ Monochrome shader : Nur eine Farbe
- ▶ Diffuse shader : Diffuses Licht
- ▶ Mirror shader : Spiegelt Licht zurück
- ▶ Specular shader : Glanzlichter

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

```
pub trait Shader {  
    fn get_appearance_for(  
        &self, int_pos: Vector3<f64>, ray_dir: Vector3<f64>,  
        surface_normal: Vector3<f64>, world: &World,  
        uv_pos: Vector2<f64>, rec_depth: f64,  
    ) -> Vector3<f64>;  
}
```

Wir haben folgende Shader implementiert :

- ▶ Monochrome shader : Nur eine Farbe
- ▶ Diffuse shader : Diffuses Licht
- ▶ Mirror shader : Spiegelt Licht zurück
- ▶ Specular shader : Glanzlichter
- ▶ Chess shader : 2 abwechselnde Shader

Projektstruktur : Shader Trait

Shader Trait

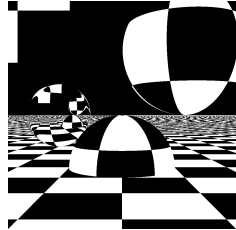
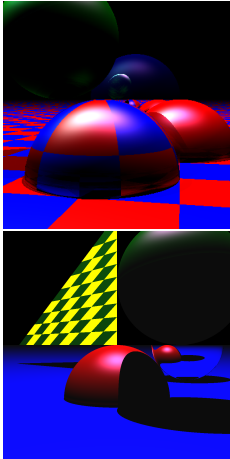
Jeder Shader liefert eine Farbe für einen Lichtstrahl-Objekt-Schnitt.

```
pub trait Shader {  
    fn get_appearance_for(  
        &self, int_pos: Vector3<f64>, ray_dir: Vector3<f64>,  
        surface_normal: Vector3<f64>, world: &World,  
        uv_pos: Vector2<f64>, rec_depth: f64,  
    ) -> Vector3<f64>;  
}
```

Wir haben folgende Shader implementiert :

- ▶ Monochrome shader : Nur eine Farbe
- ▶ Diffuse shader : Diffuses Licht
- ▶ Mirror shader : Spiegelt Licht zurück
- ▶ Specular shader : Glanzlichter
- ▶ Chess shader : 2 abwechselnde Shader
- ▶ Phong shader : s. Projektbeschreibung, Kombination aus Specular, Ambient und Diffuse

Beispiel



Projektstruktur : Camera Trait

Camera Trait

```
pub trait Camera {  
    fn render(&self, world: &World) -> DynamicImage;  
}
```

Projektstruktur : Camera Trait

Camera Trait

```
pub trait Camera {  
    fn render(&self, world: &World) -> DynamicImage;  
}
```

- ▶ Equilinear Camera : „Normale” Kamera
- ▶ Equirectangular Camera : „360 Grad” Kamera

Projektstruktur : Wavefront Parser

Wavefront Parser

3D Objekte werden als Obj-Wavefront format eingelesen und geparst.

Dafür haben wir den `wavefront_obj` crate leicht verändert.

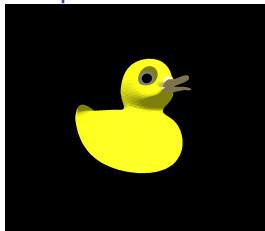
Projektstruktur : Wavefront Parser

Wavefront Parser

3D Objekte werden als Obj-Wavefront format eingelesen und geparst.

Dafür haben wir den `wavefront_obj` crate leicht verändert.

Beispiel



Benutzte Rustfeatures : Operator Überladungen & Dynamic Dispatch

Um 2 Shader zu addieren:

Benutzte Rustfeatures : Operator Überladungen & Dynamic Dispatch

Um 2 Shader zu addieren:

```
impl Add for Box<Shader> {  
    type Output = Box<Shader>;  
    fn add(self, other: Box<Shader>) -> Box<Shader> {  
        Box::new(AdditiveShader {  
            shader1: self,  
            shader2: other,  
        })  
    }  
}
```

Benutzte Rustfeatures : Phong Shader

Phong Shader

Die `std::ops::Add` und `std::ops::Mul` Traits für `Box<Shader>` erleichtern das Bauen des Phong-Shader :

Benutzte Rustfeatures : Phong Shader

Phong Shader

Die `std::ops::Add` und `std::ops::Mul` Traits für `Box<Shader>` erleichtern das Bauen des Phong-Shader :

```
pub fn get_phong(color: Vector3<f64>) -> Box<Shader> {  
    let diffuse_shader = DiffuseShader::new(color);  
    let specular_shader = SpecularShader::new(10.0);  
    let ambient_shader = AmbientShader::new(color);  
    return 0.5 * diffuse_shader  
        + specular_shader  
        + 0.8 * ambient_shader;  
}
```

Benutzte Rustfeatures : Nalgebra und std::f64

Nalgebra

Nalgebra ist eine Algebra-Bibliothek für Rust, die (fast) alles kann und die die Berechnung mit Vektoren vereinfacht :

Benutzte Rustfeatures : Nalgebra und std::f64

Nalgebra

Nalgebra ist eine Algebra-Bibliothek für Rust, die (fast) alles kann und die die Berechnung mit Vektoren vereinfacht :

- ▶ Operatoren sind für Vektoren/Matrizen überladen

Benutzte Rustfeatures : Nalgebra und std::f64

Nalgebra

Nalgebra ist eine Algebra-Bibliothek für Rust, die (fast) alles kann und die die Berechnung mit Vektoren vereinfacht :

- ▶ Operatoren sind für Vektoren/Matrizen überladen
- ▶ Interessante Hierarchie Struktur mit Generics :

```
type Vector3<N> = VectorN<N, U3>;
```

```
type VectorN<N, D> = MatrixMN<N, D, U1>;
```

```
type MatrixMN<N, R, C> =  
    Matrix<N, R, C, Owned<N, R, C>>;
```

Benutzte Rustfeatures : Nalgebra und std::f64

Nalgebra

Nalgebra ist eine Algebra-Bibliothek für Rust, die (fast) alles kann und die die Berechnung mit Vektoren vereinfacht :

- ▶ Operatoren sind für Vektoren/Matrizen überladen
- ▶ Interessante Hierarchie Struktur mit Generics :

```
type Vector3<N> = VectorN<N, U3>;  
type VectorN<N, D> = MatrixMN<N, D, U1>;  
type MatrixMN<N, R, C> =  
    Matrix<N, R, C, Owned<N, R, C>>;
```

std::f64

Alles was man braucht um mit floats zu arbeiten :

- ▶ Round, Log, Exp, Abs, ...

Benutzte Rustfeatures : Nalgebra und std::f64

Nalgebra

Nalgebra ist eine Algebra-Bibliothek für Rust, die (fast) alles kann und die die Berechnung mit Vektoren vereinfacht :

- ▶ Operatoren sind für Vektoren/Matrizen überladen
- ▶ Interessante Hierarchie Struktur mit Generics :

```
type Vector3<N> = VectorN<N, U3>;  
type VectorN<N, D> = MatrixMN<N, D, U1>;  
type MatrixMN<N, R, C> =  
    Matrix<N, R, C, Owned<N, R, C>>;
```

std::f64

Alles was man braucht um mit floats zu arbeiten :

- ▶ Round, Log, Exp, Abs, ...
- ▶ aber auch Trigonometrische Funktionen wie cos, sin, tanh, ...

```
fn main() {  
    println!("Hello {}!", f64::consts::PI.cos());  
}
```

Benutzte Rustfeatures : Error Handling

- ▶ Die Main kann einen `Result<T, Err>` zurückgeben

Benutzte Rustfeatures : Error Handling

- ▶ Die Main kann einen `Result<T, Err>` zurückgeben
- ▶ `try!(...)` bzw `? :` ersetzt ein `Result` durch ihren Wert oder gibt den Fehler zurück

Benutzte Rustfeatures : Error Handling

- ▶ Die Main kann einen `Result<T, Err>` zurückgeben
- ▶ `try!(...)` bzw `? :` ersetzt ein `Result` durch ihren Wert oder gibt den Fehler zurück
- ▶ Eigener Fehlerenum, dass die eigenen library-Fehler wrappt

```
pub enum Error {  
    ParseError(wavefront_obj::ParseError),  
    Io(io::Error),  
    Time(std::time::SystemTimeError),  
    Error(String),  
}
```

Benutzte Rustfeatures : Trait Bounds

- Für Beschleunigungsstrukturen müssen Objekte beschränkt sein, aber nicht alle Interceptable sind beschränkt

```
pub trait Bounded: Interceptable {  
    fn get_min(&self) -> Vector3<f64>;  
    fn get_max(&self) -> Vector3<f64>;  
}
```

Rust Downsides

- ▶ erzwungene einheitliche Pointer : kein Vertauschen zwischen `Box<T>` und `&T` möglich

Zum Beispiel: Um eine Box zu teilen müsste man mit `&Box<T>` arbeiten

Rust Downsides

- ▶ erzwungene einheitliche Pointer : kein Vertauschen zwischen `Box<T>` und `&T` möglich

Zum Beispiel: Um eine Box zu teilen müsste man mit `&Box<T>` arbeiten

- ▶ Rayon : eine Library um Iteratoren zu parallelisieren
Kompilierfehler und Dokumentation haben sich widersprochen

Rust Downsides

- ▶ erzwungene einheitliche Pointer : kein Vertauschen zwischen `Box<T>` und `&T` möglich

Zum Beispiel: Um eine Box zu teilen müsste man mit `&Box<T>` arbeiten
- ▶ Rayon : eine Library um Iteratoren zu parallelisieren

Kompilierfehler und Dokumentation haben sich widersprochen
- ▶ cargo bench : nur als nightly, kann nur Unter crates benchen

Rust Downsides #2

```
trait Bounded:Interceptable { ... }  
fn main() {  
    let obj : Vec<Box<Bounded>> = vec![Box::new(S {})];  
    let obj2 : Vec<Box<Interceptable>> = obj;  
}
```

Rust Downsides #2

```
trait Bounded:Interceptable { ... }  
fn main() {  
    let obj : Vec<Box<Bounded>> = vec![Box::new(S {})];  
    let obj2 : Vec<Box<Interceptable>> = obj;  
}
```

error[E0308]: mismatched types

--> src/main.rs:3:42

```
|  
|     let obj2 : Vec<Box<Interceptable>> = obj;  
|                                         ~~~  
| expected trait `Interceptable`, found trait `Bounded`  
|  
= note: expected type `Vec<Box<dyn Interceptable>>`  
        found type `Vec<Box<dyn Bounded>>`
```

Rust Downsides #2

```
trait Bounded:Interceptable { ... }  
fn main() {  
    let obj : Vec<Box<Bounded>> = vec![Box::new(S {})];  
    let obj2 : Vec<Box<Interceptable>> = obj;  
}
```

error[E0308]: mismatched types

--> src/main.rs:3:42

```
|  
|     let obj2 : Vec<Box<Interceptable>> = obj;  
|                                     ~~~  
| expected trait `Interceptable`, found trait `Bounded`  
|  
= note: expected type `Vec<Box<dyn Interceptable>>`  
        found type `Vec<Box<dyn Bounded>>`
```

Keine „Upgrades“ von Trait zu Super-Traits möglich : man muss
From und Into implementieren

Rust Downsides #2

```
fn main() {  
    let obj : Vec<Box<Bounded>> = vec![Box::new(S {})];  
    //let obj2 : Vec<Box<Interceptable>> = obj;  
    let obj2 : Vec<Box<Interceptable>> = from(obj);  
}  
  
impl From<Box<Bounded>> for Box<Interceptable> {  
    fn from(x: Box<Bounded>) -> Self {  
        Box::new(W{s:x})  
    }  
}  
  
fn from(v: Vec<Box<Bounded>>) -> Vec<Box<Interceptable>> {  
    let mut r: Vec<Box<Interceptable>> = Vec::new();  
    for x in v {  
        r.push(Box::from(x))  
    }  
    r  
}
```

Lessons learned

- ▶ Structs mit Referenzen brauchen Lifetimes

Lessons learned

- ▶ Structs mit Referenzen brauchen Lifetimes
- ▶ Serde

Lessons learned

- ▶ Structs mit Referenzen brauchen Lifetimes
- ▶ Serde
- ▶ Swapping mit

```
oldvalue =  
std::mem::replace(&mut my_struct.var, new_value)
```

Lessons learned

- ▶ Structs mit Referenzen brauchen Lifetimes
- ▶ Serde
- ▶ Swapping mit

```
oldvalue =  
std::mem::replace(&mut my_struct.var, new_value)
```

- ▶ Konsumieren von structs

```
impl S {  
    fn f(self) -> Another_S { ... }  
}
```

Fragen?

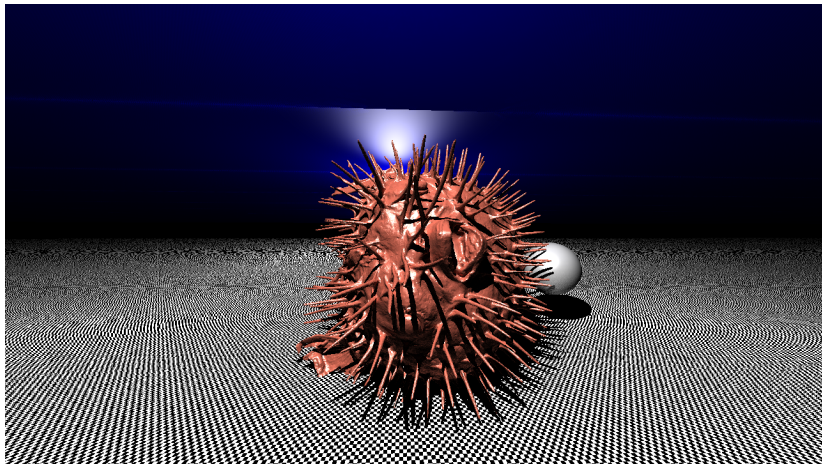


Figure 1: Ein Kugelfisch bestehend aus 1 Mio. Dreiecke