

Rolling Shutter Effekt

Englisch: Rolling Shutter

KAMERA/TECHNIK

Rolling Shutter ist eine Belichtungstechnik, bei der der Sensor zeilenweise von oben nach unten (oder seitwärts) belichtet wird, was unter bestimmten Bedingungen zu Verzerrungen, Jello-Effekten und Aliasing führen kann.

Definition Rolling Shutter (deutsch: Rolling Shutter Effekt oder Zeilenscanning) ist eine Belichtungsmethode, bei der ein digitaler Sensor nicht alle Pixel gleichzeitig belichtet, sondern zeilenweise nacheinander - typischerweise von oben nach unten. Dies ist die Standardtechnik in modernen CMOS-Sensoren und steht im Gegensatz zu Global Shutter, bei dem alle Pixel simultan belichtet werden. Die Belichtungsdauer kann zwischen 0,5 bis 50ms bei üblichen Frame Rates liegen, was bei schnellen Bewegungen zu sichtbaren Artefakten führt: Jello-Effekt : Wellenförmige

Verformung Skew/Shear : Neigung vertikaler Linien Aliasing : Moiré-Muster bei regulären Strukturen

Physikalisches Prinzip Wie Rolling Shutter funktioniert Timeline einer Rolling Shutter Belichtung

(24fps): Frame-Dauer: 41.67ms Zeilenanzahl: 2160 Zeilen (4K) Zeitgewinn pro Zeile: 41.67ms / 2160 = ~19.3µs t=0ms t=10ms t=20ms t=41.67ms ? ? ? ? Zeile 1: [????????] Zeile 2: [????????] Zeile 3:

[????????] ... Zeile 2160: [????????] Während die letzte Zeile belichtet wird, hat die erste Zeile

bereits 40ms "alte" Informationen. Beispiel mit Global Shutter zum Vergleich Global Shutter (alle

Zeilen gleichzeitig): t=0ms t=41.67ms Alle Zeilen werden hier belichtet werden hier ausgelesen

[??] CMOS vs. CCD CMOS (heute Standard): Zeilenweise Auslesen

Rolling Shutter CCD (älter): Globale Belichtung möglich, aber teuer und veraltet Global Shutter

CMOS (neueste Technologie): Rolling Shutter ohne Artefakte Technische Spezifikationen Rolling

Shutter in modernen Kameras Kamera Sensor Auflösung Scan-Zeit Rolling Shutter? ARRI Alexa Mini

Super35 CMOS 2880x1620 ~10ms Ja (minimal) RED Komodo RED Dragon 6K ~15ms Ja (moderat) Sony FX3

CMOS Stacked 4K ~8ms Ja (merklich) Blackmagic URSA Mini Pro Super35 4K ~8ms Ja (merklich) Canon R5

Full Frame CMOS 8K ~22ms Ja (deutlich) Scan-Zeit Berechnung Scan-Zeit (Zeilenanzahl /

Auslese-Geschwindigkeit): ARRI Alexa Mini bei 24fps: Frame Duration = 1000ms / 24fps = 41.67ms

Zeilenanzahl = 1620 Effektive Scan-Zeit ? 10ms (~24% der Frame-Dauer) Sony FX30 bei 24fps: Frame

Duration = 41.67ms Zeilenanzahl = 2160 Effektive Scan-Zeit ? 8ms (~19% der Frame-Dauer) RED Komodo

bei 24fps: Frame Duration = 41.67ms Zeilenanzahl = 3160 (6K) Effektive Scan-Zeit ? 15ms (~36% der

Frame-Dauer) Wichtig: Höhere Frame Rates = kürzere Scan-Zeit = weniger Rolling Shutter Effekt Sony

FX30 bei verschiedenen Frame Rates: 24fps: 41.67ms Frame Duration ? ~8ms Scan = Merklich 60fps:

16.67ms Frame Duration ? ~3.2ms Scan = Subtil 120fps: 8.33ms Frame Duration ? ~1.6ms Scan = Kaum

sichtbar Artefakte und ihre Ursachen 1. Jello-Effekt (Wobbling) Der klassische Jello-Effekt tritt

bei Kamerabewegungen senkrecht zur Scan-Richtung auf: Schnelle Horizontale Schwenkung (Pan): Oben

(früh belichtet): Position A (Kamera war hier) Mitte (später belichtet): Position B (Kamera ist

hier) Unten (zuletzt belichtet): Position C (Kamera ist schon hier) Resultat: Bildinhalt sieht

wellenförmig verzerrt aus Effekt ist stärker bei: - Schnelleren Schwenks - Schnelleren Frame Rates

(größerer Wegunterschied) - Größeren Sensoren (mehr räumliche Auflösung) Visuelles Beispiel:

Schnelle 30°-Schwenkung bei 24fps: SEHR sichtbar (5-10° Verformung) Langsame 10°-Schwenkung bei

24fps: Kaum sichtbar 2. Skew (Scherung) Vertikale oder nahezu vertikale Linien werden bei

horizontaler Bewegung geneigt: Fest stehendes vertikales Haus: Global Shutter: Rolling Shutter (schnelle Pan): | / | (perfekt vertikal) / (geneigt 1-3°) | / 3. Aliasing (Moiré-Effekte) Bei sehr regelmäßigen Strukturen und bestimmten Bewegungen entstehen Moiré-Muster: Vergleich von Texturen: Fassade mit regelmäßigen Fenstermustern: Global Shutter: Saubere Fenster-Linien Rolling Shutter: Moiré-Muster, Fenster-Linien schwingen Hubschrauber-Rotoren: Global Shutter: Normale Rotorbewegung Rolling Shutter: Aliasing, Rotor wirkt verlangsamt oder rückwärts 4. Vertikale Linien-Versatz Bei Bewegungen kann ein halb-belichtetes Objekt entstehen: Ball-Wurf (fällt vertikal): Global Shutter: Rolling Shutter: [O] (sauberer Ball) [O] oben [O] Mitte (verschoben) [O] unten (sehr verschoben) Praktische Auswirkungen Motion Speed Thresholds ARRI Alexa Mini bei 24fps: Schwenkgeschwindigkeit | Sichtbarkeit 5°/Sekunde | Nicht sichtbar 15°/Sekunde | Gerade sichtbar 30°/Sekunde | Deutlich sichtbar 60°/Sekunde | Stark störend Faustregel: Unter 10°/sec ist es unsichtbar Sony FX30 bei 24fps (kleinerer Sensor): 10°/Sekunde | Nicht sichtbar 25°/Sekunde | Gerade sichtbar 50°/Sekunde | Deutlich sichtbar Faustregel: Unter 15°/sec ist es unsichtbar Kritische Szenen Rolling Shutter wird problematisch bei: Action/Verfolgungsszenen Schnelle Kamera-Fahrten Helicopter Shots Drone Footage (besonders schnelle Bewegungen) Beleuchtungs-Techniken LED-Panels mit hoher Frequenz (Aliasing) Fluoreszent-Leuchten (50Hz flicker) VFX und Tracking Marker-basiertes Motion Capture Perspective Correction in Post Schnelle Objekt-Bewegungen Fallende Gegenstände Rotorblätter Rollende Räder Rolling Shutter in der Praxis Vorproduktion Fragen, die beantwortet sein müssen: Welche Kamera wird verwendet? (Rolling Shutter Charakteristika kennen) Wie schnell sind die geplanten Kamerabewegungen? Gibt es Action-Sequenzen, die problematisch sein könnten? Sind Drohnen geplant? (extreme Rolling Shutter) Lösungsansätze früh planen: Wenn schnelle Schwenks geplant sind: Option A: Kamera mit minimaler Rolling Shutter wählen ? ARRI Alexa 35 (am besten) ? RED Komodo (gut) ? Sony FX30 (deutlicher RS) Option B: Higher Frame Rate ? Statt 24fps: 60fps drehen (4x weniger RS) ? Aber: 2.5x mehr Speicher, die Bewegung wirkt weniger natürlich Option C: Motion Design der Szene anpassen ? Sanfte Bewegungen statt schnelle Schwenks ? Zoom statt Pan (Zoom zeigt kein Jello) Dreharbeiten 1. Kamera-Fahrten planen: Szene: Verfolgung durch enge Gasse (Action) Problem: Schnelle Schwenks sind notwendig Lösung 1: Higher Frame Rate - 24fps normal drehen + 60fps für Action-Inserts - In Post: 60fps zeitgestreckt auf 24fps (Slow-Mo Look) Lösung 2: Stabilisierung nutzen - Gimbal statt freie Hand (glattere Bewegungen) - Remote Head (sehr präzise, kontrollierte Bewegungen) Lösung 3: Dolly-Fahrt statt Handheld - Sanfte, geplante Bewegungen = weniger RS - DoP erhält mehr Kontrolle 2. LED-Beleuchtung: Szenario: Studio mit modernen LED-Panels Problem: LED ohne PWM bei bestimmter Frequenz = Flicker + Aliasing Lösung: ? High-Frequency-PWM LEDs nutzen (100+ kHz) ? LED-Frequenz an Frame Rate anpassen ? Oder: Bei 50Hz Frequenz, 50fps drehen (oder 100fps) 3. Drohnen-Footage: DJI Mavic 3 (extreme Rolling Shutter): Schnelle Drohnen-Bewegung: - Deutlicher Jello-Effekt - Oft nicht zu vermeiden Best Practices: ? Langsame, sanfte Bewegungen ? Zoom nutzen statt Pan ? Oder: Gimbal-basierte Professional Drohne (Freefly) Nachproduktion Rolling Shutter Correction in Post: Warp Stabilizer / Optical Flow Adobe Premiere / After Effects: Effects > Distort > Warp Stabilizer - Kann leichte Verwölbungen glätten - Funktioniert nur bei moderaten Effekten - Kann zu neuen Artefakten führen Dedicated RS Correction Software - ReelSteady (Drohnen-Footage) - Gyroflow Toolbox - 3D Camera Tracker + Distortion Correction Roto und Frame-by-Frame Korrektur Für extreme Fälle: - Node-basierte Korrekturen (Nuke, Fusion) - Jedoch sehr zeitaufwendig - Nicht als Standard einsetzbar Rolling Shutter vs. Global Shutter Direkte Vergleiche Aspekt Rolling Shutter Global Shutter Jello-Effekt Ja, bei schneller Bewegung Nein Scan-Zeit 5-30ms 0ms (alle Pixel gleichzeitig) Preis Günstiger

30-50% teurer Sensor-Größe Kompakt möglich Größere Sensoren nötig Licht-Empfindlichkeit Besseres SNR Leicht schlechter Verfügbarkeit Standard Noch selten (2024-2026) Action-Geeignetheit Schlecht Exzellente Slow-Motion Subtile Artefakte Perfekt Global Shutter Kameras (2024-2026) Emerging Technologies: SONY BURANO (ab 2024): - Global Shutter (!) - erste professionelle Kino-Kamera - Aber: Extreme Wärmeentwicklung - Sehr teuer Panasonic LUMIX GH7 (2024): - Rolling Shutter, aber verbesserter Algorithmus Canon EOS R8 (2023): - "Electronic Global Shutter" Mode - Nicht echtes Global Shutter, sondern Algorithmus Praktische Faustregel für Film-Produktion Rolling Shutter Akzeptanz-Matrix nach Kamera-Bewegung und Genre: Bei Drama (langsam) ist Rolling Shutter akzeptabel, bei Thriller (moderat) problematisch, bei Action (schnell) inakzeptabel, bei Dokumentation (variabel) je nach Szene unterschiedlich zu bewerten, bei Slow-Motion (60fps+) minimiert und bei Handheld/Found Footage unsichtbar, da er zur Ästhetik passt. Spezialfälle Drohnen und Rolling Shutter Drohnen haben extreme Rolling Shutter Probleme: DJI Mavic 3 (Consumer Drone): - Sehr kleine Sensoren - Sehr schnelle Scan-Zeit - Jello-Effekt bei jeder schnellen Bewegung ? Nicht für Film-Produktion geeignet Professional Freefly Astro (Professional Drone): - Größerer Sensor - Better Processing - Gimbal stabilisiert Bewegungen (weniger Effekt) ? Akzeptabel für Film-Produktion Kamera-Stabilisierung und Rolling Shutter Interessanterweise: In-Kamera-Stabilisierung kann RS verschlimmern: ARRI Alexa Mini mit EIS (Electronic Image Stabilization): - Kamera kompensiert Bewegungen digital - Dies kann zu zusätzlichen Verformungen führen - Viele DoPs deaktivieren EIS bewusst Zeitlupe und Rolling Shutter Szene: Kugel fällt 1 Meter (normaler Slow-Motion) 24fps global shutter: Kugel sieht glatt aus, saubere Bewegung 120fps rolling shutter: - Kugel ist halb belichtet (kurze Scan-Zeit) - RS-Effekt minimal - Visuell sauberer! Paradoxon: Höhere Frame Rates reduzierten RS, aber 120fps Zeitlupe sieht "unnatürlich" aus Siehe auch Global Shutter – Alternative zu Rolling Shutter Shutter Speed – Belichtungsdauer Frame Rate – Bilder pro Sekunde Motion Blur – Bewegungsunschärfe ARRI Alexa – Rolling Shutter Charakteristika RED Komodo – Rolling Shutter Analyse