

Rolling in the Deep

Viele CMOS-Sensoren verfügen nur einen so genannten Rolling Shutter Verschluss. Diese bieten Vor- und Nachteile, die Sie berücksichtigen müssen. Dieses Whitepaper geht auf die Thematik ein.

Einige bei den Industriekameras verwendeten CMOS-Sensoren nur über einen Rolling-Shutter, zu Deutsch etwa „rollender Verschluss“. Dies bedeutet, dass die Belichtung der Zeilen eines Bildes zu unterschiedlichen Zeitpunkten startet bzw. endet (siehe Abbildung 1).

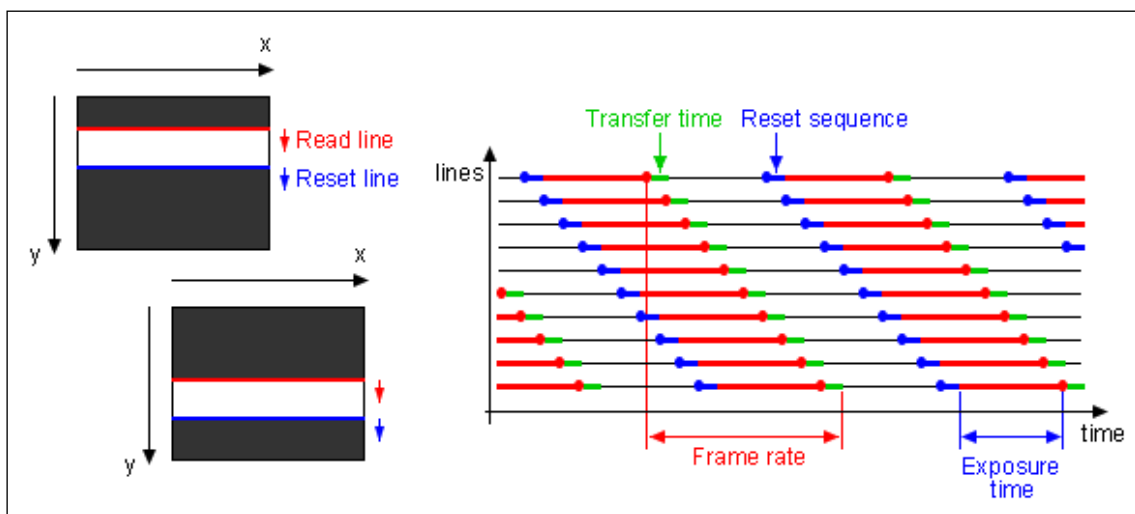


Abbildung 1: Belichtung der Zeilen startet und endet unterschiedlich

Die Abbildung 1 ist in zwei Seiten aufgeteilt. Die linke Seite zeigt zwei Zustände eines Sensors mit einem Zeilenblock, der sich über den Sensor schiebt. Der weiß dargestellte Bereich stellt die lichtempfindliche Fläche dar. Diese schiebt sich zeilenweise von oben nach unten durch das Bild.

Stellt man z. B. die Belichtungszeit von 100 Zeilen ein, dann ist dieser Bereich 100 Zeilen hoch. Schiebt sich das Integrationsfenster in die nächste Zeile, muss die Zeile zunächst gelöscht werden („Reset line“, in der Abbildung 1 blau dargestellt). Am oberen Rand des Fensters wird die Zeile, nachdem diese schon 100 Zeilen lang belichtet wurde, ausgelesen („Read line“, in der Abbildung 1 rot dargestellt).

Jede Zeile ist entsprechend der eingestellten Integrationszeit offen, allerdings findet die Belichtung zeitversetzt statt. Die rechte Seite der Abbildung 1 versucht dies, mit einem Zeilen/Zeit-Diagramm zu verdeutlichen. Zeile für Zeile verschiebt sich zeitlich der Start der Belichtung („Exposure time“, d. h. im Diagramm nach rechts). Die rechte Seite der Abbildung verdeutlicht ferner die Phasen der Bilderfassung des Rolling-Shutters. Jede Zeile vollzieht einen Löschvorgang („Reset sequence“), eine Belichtungsphase („Exposure time“) und eine Transferphase („Transfer time“). Der Start der

Transferphase der ersten Zeile und das Ende der Transferphase der letzten Zeile bestimmen die Bildrate („Frame rate“). Kurz:

$$\text{Bildrate} = \frac{1}{\text{Transferzeit} * \text{Bildhöhe}}$$

Ist die Belichtungsphase länger als die Transferphase, so wird in der Formel zum Berechnen der Bildrate die Transferzeit durch die Belichtungszeit ersetzt.

Aufnahme-Effekte bei horizontaler Bewegung

Bei einer horizontalen Bewegung eines Objektes ergibt sich bei der Bildaufnahme eine Bildverschiebung. Abbildung 2 zeigt, wie ein Objekt sich von links nach rechts bewegt. Die „rollende Aufnahme“ des Sensors, welcher zur Veranschaulichung nur aus drei Zeilen besteht, bekommt durch die zeitversetzte zeilenweise Erfassung nur Teile des Objekts an anderer Position mit. Das Bild der zusammengefügten Aufnahme offenbart die Bildverschiebung. Durch die Bewegung des Objekts kommt es zu einer kleinen Unschärfe.

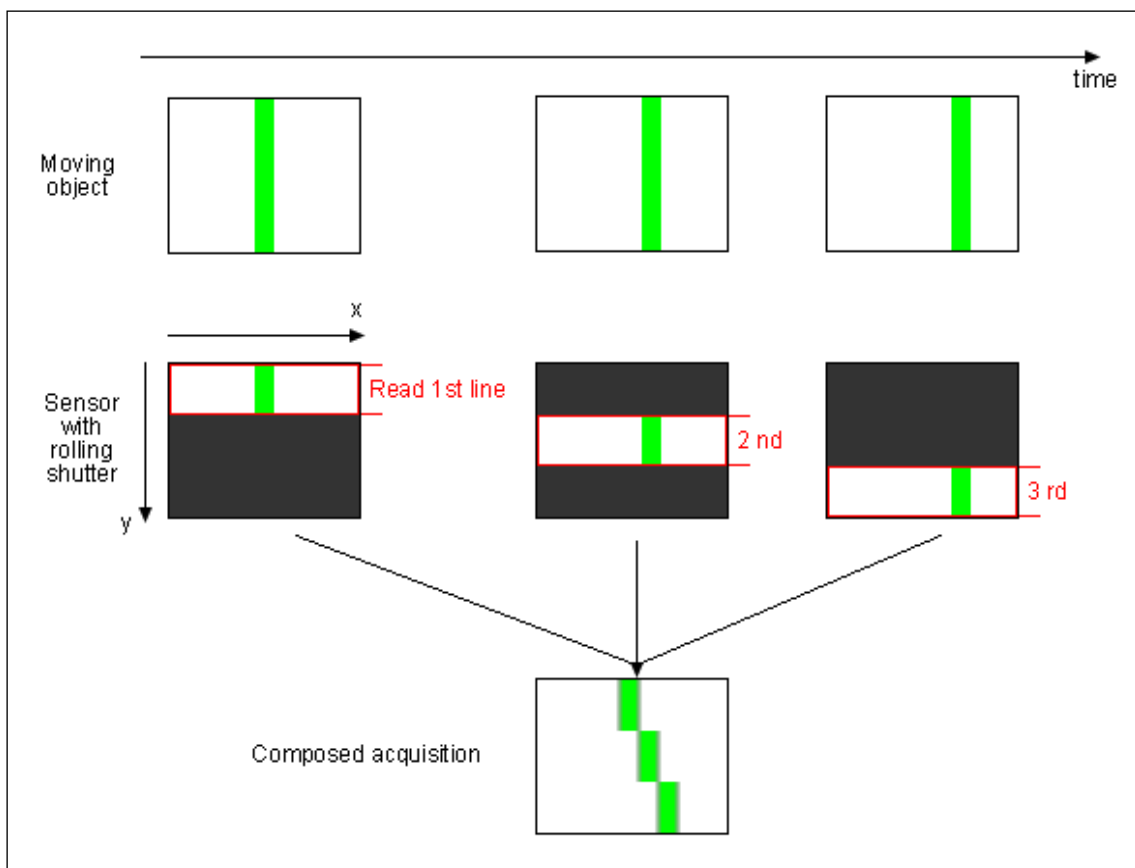


Abbildung 2: Bildverschiebung bei horizontaler Objektbewegung

Betrachtet man nun die zeilenweise Bewegung des beobachteten Objektes, ist es erstaunlich, wie kurz der zurückgelegte Weg ist.

Als Beispiel: Bei einem Rolling-Shutter-Sensor mit einer Höhe von 480 Pixel und einer Bildrate von 30Hz (30 Bilder pro Sekunde) legt ein Objekt mit einer Geschwindigkeit von 10 Metern pro Sekunde (36 km/h) pro Zeilenwechsel einen Weg von nur 0,694 Millimetern zurück.

Pro Sekunde werden 14400 Zeilen ausgelesen:

$$\text{AusgeleseneZeilen} = 30\text{Hz} * 480\text{Zeilen} = 14400 \frac{\text{Zeilen}}{\text{s}}$$

Daraus ergibt sich alle 0,0000694 Sekunden ein Zeilenwechsel:

$$\text{Zeilenwechsel} = \frac{1}{14400} = 0,0000694 \text{ s}$$

Ist das Objekt nun 10 m/s schnell, wird ein Weg pro Zeilenwechsel von 0,694mm zurückgelegt:

$$s = v * t$$

$$s = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0000694 \text{ s}$$

$$s = 0,000694 \text{ m} = 0,694 \text{ mm}$$

Aus diesem Grund lässt sich ein Rolling-Shutter-Sensor ideal für Bewegungsanalysen mit hohen Frameraten verwenden.

Aufnahme-Effekte bei vertikaler Bewegung

Bei einer vertikalen Bewegung eines Objektes ergibt sich bei der Bildaufnahme je nach Bewegungsrichtung eine Stauchung oder eine Streckung. In Abbildung 3 bewegt sich ein Objekt vertikal entgegen der Aufnahmerichtung des Sensors, welcher zur Veranschaulichung nur aus drei Zeilen besteht. Dies bewirkt, wie das Bild der zusammengeführten Aufnahme beweist, dass ein Objekt gestaucht wird.

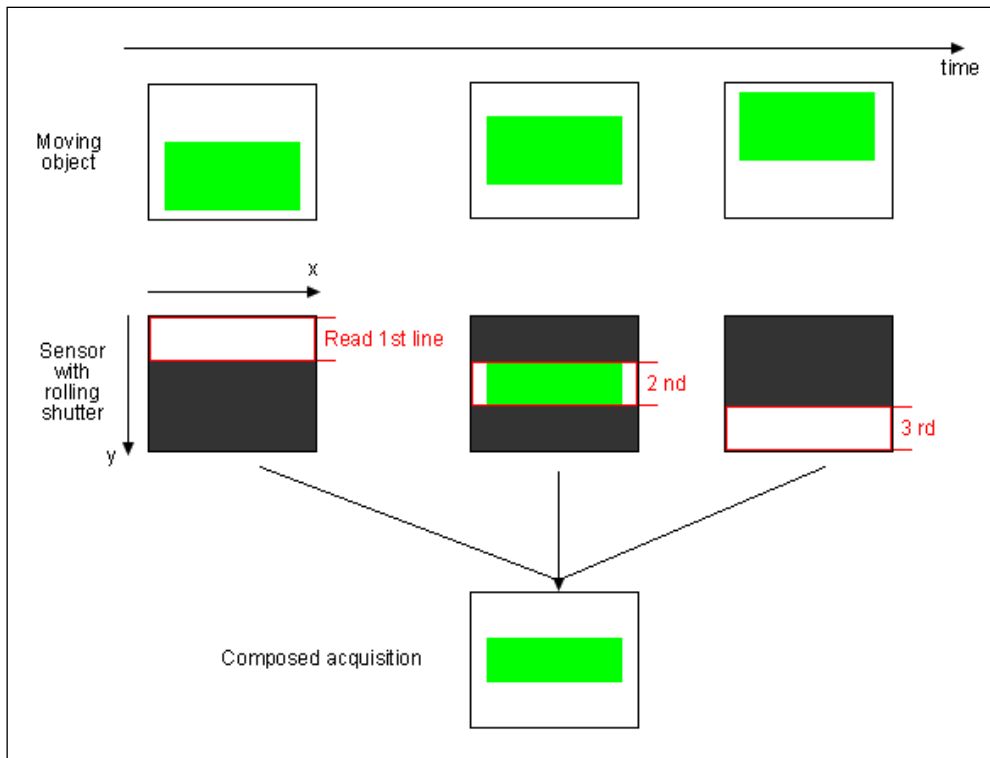


Abbildung 3: Stauchung bei vertikaler Objektbewegung

Der Rolling-Shutter-Effekt kann positiv genutzt werden. Die zeilenweise Integration vermindert bei schnell bewegten Objekten die Bewegungsunschärfe. Infolgedessen kann mit einer doppelten Integrationszeit gearbeitet werden.

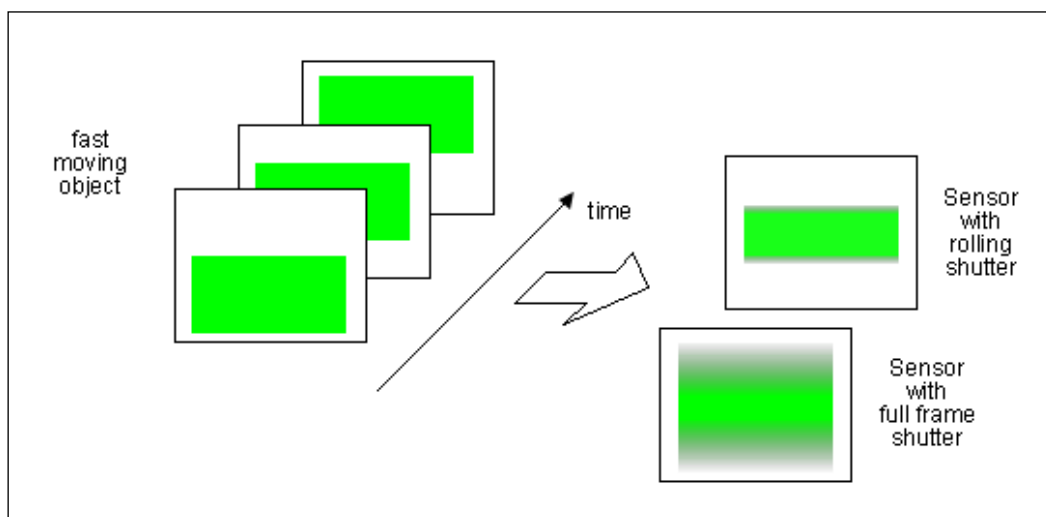


Abbildung 4: Verminderte Bewegungsunschärfe mit Rolling-Shutter

Blitzsteuerung bei CMOS-Sensoren mit Rolling-Shutter

Die Blitzsteuerung eines CMOS-Sensors mit einem Rolling-Shutter unterliegt Einschränkungen. Damit alle Zeilen gleichzeitig geblitzt werden können, muss die Belichtungszeit („Exposure time“) ausreichend lang sein, sodass sich die belichteten Zeilen überlappen (siehe Abbildung 5 „All row integration“). Der Blitzzeitpunkt muss im Bereich der „All row integration“ liegen und die Blitzzeit darf nicht länger als „All row integration“ sein.

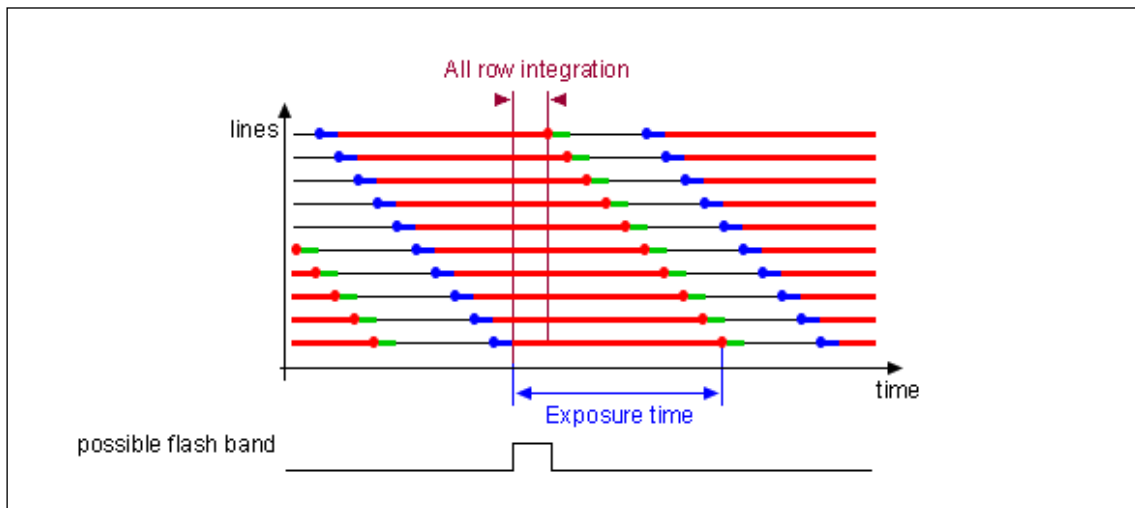


Abbildung 5: Möglicher Blitzbereich

Bei dieser Vorgehensweise muss beachtet werden, dass während der Belichtung („Exposure time“) der Zeilen kein Fremdlicht vorhanden ist.