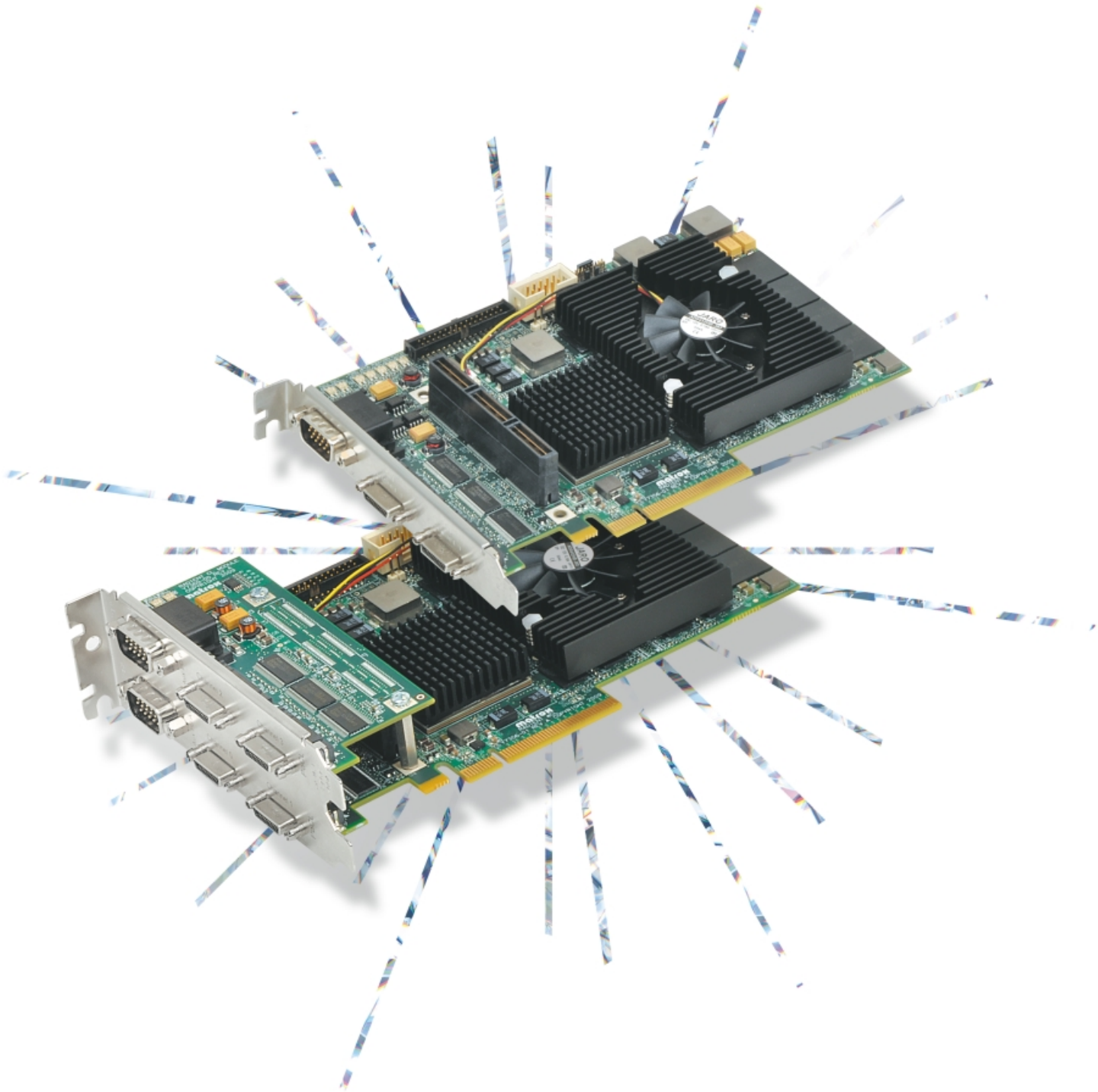


# Framegrabber Whitepaper

■ Matrox Radiant eCL



# Framegrabber

## Whitepaper

Das beständige Streben nach höherer Auflösung und höherem Systemdurchsatz führt zum Entwurf von Vision-Systemen mit mehreren Videoeingängen, von denen jeder einzelne Hunderte oder sogar Tausende Megabyte pro Sekunde (MB/s) an Pixeldaten liefert.

Diese Bilddatenraten stellen Erfassungshardware und Software vor eine Herausforderung, wenn zuverlässige Bilderfassung auf einem PC-basierten System erzielt werden soll, der von Anwendungen stark ausgelastet ist.

In einer Studie wurde untersucht, wie effektiv der Matrox Radiant Framegrabber bei der zuverlässigen Bilderfassung mit hoher Bandbreite und der Entlastung anderer Rechnerressourcen ist.

### Voraussetzungen für gute Performance

Bei einem PC-basierten System, das unter Windows läuft, stören hohe Rechenbelastung und viel Datenverkehr im System oft die für eine zuverlässige Bilderfassung notwendigen Aktivitäten. Eine Anwendung zur Bilderfassung generiert zahlreiche Systemereignisse, die mit minimaler Latenz verarbeitet werden müssen, um sicherzustellen, dass alle Bilder erfolgreich im Arbeitsspeicher des Systems ankommen. Aufgrund seines nicht deterministischen Wesens garantiert Windows nicht automatisch eine zeitnahe Antwort auf die mit der Bilderfassung verbundenen Ereignisse. Aus diesem Grund kann die Zuverlässigkeit der Bilderfassung durch hohe Aktivität im Benutzermodus (d. h. durch Benutzeranwendungen), die während der Bilddatenerfassung ablaufen, beeinträchtigt werden.

Der Durchsatz bei der Bilderfassung (d. h. die Menge an Pixeldaten, die in einer bestimmten Zeit erfasst werden müssen) hat insbesondere bei Kameras mit hoher Bildrate ebenfalls Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit, da die Häufigkeit dieser Ereignisse zunimmt. Eine größere Ereignishäufigkeit erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Bilder verloren gehen.

Darüber hinaus sind die meisten Systeme heute so ausgelegt, dass sie die Rechnerressourcen (also CPUs, Arbeitsspeicher und Peripherie) mit Bildverarbeitung und Bildanalyse sowie sonstigen Aufgaben, beispielsweise Vernetzung, voll auslasten, was die Situation noch verschlimmert. Daher ist eine Lösung erforderlich, die eine zuverlässige Bilderfassung und Bildverarbeitung unabhängig von der Systembelastung erlaubt.

### Matrox Radiant und Matrox Imaging Library (MIL)

Matrox Radiant eCL ist ein Hochleistungs-Framegrabber mit mehreren Videoeingängen mit hoher Bandbreite. Er unterstützt alle Konfigurationen des Camera Link Schnittstellenstandards: Base, Medium und Full (bis zu 10 Taps). Der Framegrabber erlaubt die gleichzeitige Datenerfassung aus bis zu vier Base Kameras (d. h. bis zu 4 x 255 MB/s oder 1.020 MB/s insgesamt mit Matrox Radiant eCL-QB) oder zwei Full Kameras (d. h. bis zu 2 x 850 MB/s oder 1.700 MB/s insgesamt mit Matrox Radiant eCL-DF).

Um diese hohen Eingangsraten verarbeiten zu können, ist Matrox Radiant mit beträchtlichem Onboard-Arbeitsspeicher von typischerweise 2 GB ausgestattet, mit dem DMA-Transfers (Direct Memory Access) in das Hostsystem gepuffert werden. Eine PCIe x8 bidirektionale Punkt-zu-Punkt-Hostschnittstelle mit einer Spitzenleistung von 2 GB/s überträgt Bilddaten an den Host, ohne dass Bilder verloren gehen.

Darüber hinaus lagert der Matrox Radiant wiederholt ausgeführte CPU-intensive Aufgaben auf einen dedizierten Altera Stratix III/IV FPGA aus. Die FPGA-Verarbeitungsfunktionen umfassen unter anderem örtliches und zeitliches Filtern, Gain- und Offset-Korrektur, Hot-Pixel-Korrektur, Korrektur optischer und perspektivischer Verzerrung, Bayer-Interpolation, Farbraumkonvertierungen und Transformationen in die Frequenzdomäne. Diese Auslagerungsmöglichkeit setzt wertvolle CPU-Ressourcen für den Rest der Anwendung frei und beschleunigt die Verarbeitung insgesamt.

Matrox Radiant wird mit der Matrox Imaging Library (MIL) programmiert, einer umfangreichen Sammlung von Softwarewerkzeugen für die Entwicklung industrieller Bildverarbeitungsanwendungen. Die MIL enthält eine Vielzahl von Programmierfunktionen für Bilderfassung, Bildanalyse, Bildverarbeitung, Bildbeschriftung, Bildanzeige und Bildarchivierung. Diese Funktionen wurden sorgfältig optimiert, um den engen zeitlichen Beschränkungen vieler Anwendungen Rechnung zu tragen.

Die MIL wurde speziell dafür entworfen, die Performance bei der Bilderfassung zu maximieren, und führt die Steuerung der Bilderfassung im Windows-Kernel-Modus durch, um höheren Determinismus und kürzere Reaktionszeiten zu gewährleisten. Außerdem unterstützt der mehrfach gepufferte Mechanismus der MIL Callback-Funktionen zur Implementierung gleichzeitiger Bilderfassung und -verarbeitung. Dies erhöht die Zuverlässigkeit der Anwendung weiter, da der Verlust von Bildern, der auftreten kann, wenn die Bildverarbeitung im Host gelegentlich länger dauert als die Bilderfassung, begrenzt, wenn nicht vollständig eliminiert wird..

### Command Queuing: Der Schlüssel zum Erfolg

Für die Studie zur Zuverlässigkeit der Bilderfassung mit hoher Bandbreite mit Matrox Radiant wurde mithilfe der MIL-Standardfunktionen eine Folge wiederkehrender Befehle durch den Softwaretreiber auf dem Board in eine Queue gestellt:  
Bilderfassung,  
Bildverarbeitung (auf dem FPGA) und  
Übertragung aus dem Bildpuffer  
(unter Verwendung von DMA zum Kopieren der Daten vom Onboard- in den Hostarbeitspeicher).

Die Möglichkeit des Queuing von Befehlen auf dem Matrox Radiant ist der Schlüssel zum Erfolg für eine zuverlässige Bilderfassung mit hoher Bandbreite und eine Verarbeitungsperformance auf dem Board mit minimaler Systemvariabilität (Jitter).

### Testanordnung und Ergebnisse

Die Testanordnung für die Studie umfasste folgende Geräte:

#### ■ PC

Zwei Intel Xeon E5645 CPUs (12 Kerne) mit 24 GB DDR3-SDRAM und 64-Bit-Windows Vista

#### ■ Framegrabber

Matrox Radiant eCL-DF (d. h. dual-Full) Board im PC, mit einem Camera Link-Videosimulator verbunden

#### ■ Videoquelle

Camera Link-Videosimulator, der zwei 1K x 1K x 8-Bit Streams, die jeweils über 8 Taps bei 85 MHz gesendet werden, mit je 630 fps oder MB/s an Bilddaten (insgesamt 1260 MB/s) erzeugt

Eine MIL-basierte Benchmarking-Anwendung erfasste gleichzeitig Daten aus zwei Videostreams in den Arbeitsspeicher des Matrox Radiant. Um die Entlastungsfähigkeit bei der Bildverarbeitung nachzuweisen, wurde der erste Stream einer Gain/Offset-Operation unterzogen, die vom FPGA auf dem Matrox Radiant durchgeführt wurde. Beide Streams wurden dann mithilfe der unabhängig vom Host arbeitenden DMA-Engine des Matrox Radiant in den Hostarbeitspeicher übertragen.

Für die Bilderfassung, Bildverarbeitung und Bildübertragung zum Host wurden 8 x 630 MB/s oder 5.040 MB/s der Bandbreite des Onboardspeichers des Matrox Radiant verbraucht.

Für den ersten Stream wurde auf den Onboardspeicher einmal zur anfänglichen Erfassung, dreimal für die Gain/Offset-Operation (d. h. Bild, Gain-Werte und Offset-Werte), einmal für das Zurückschreiben des Ergebnisses und ein letztes Mal für die Übertragung des Bildes auf den Host zugegriffen.

Gleichermaßen wurde für den zweiten Stream einmal für die anfängliche Erfassung und einmal für die Übertragung des Bildes auf den Host auf den Onboardspeicher zugegriffen.

Wie oben erwähnt, nutzte die Benchmarking-Anwendung die Fähigkeit der MIL, die Befehle zur Bilderfassung und Onboardverarbeitung für jedes Bild vorab in eine Queue zu stellen und Function Callbacks als Reaktion auf verschiedene Ereignisse (d. h. End-of-Grab, End-of-Processing und End-of-Transfer) durchzuführen, um minimalen Systemjitter zu erzielen.

Neben dem Speisen und Überwachen von Operationen auf dem Board ließ die Benchmarking-Anwendung die CPU-Kerne I/O-gebundene Bildverarbeitung (z. B. Frame-Averaging) auf Anforderung (d. h. bei aktiver Callback-Funktion) vornehmen.

Um statistische Daten zu erzielen, die für die Bewertung der Performance des Matrox Radiant notwendig sind, wurden sowohl die Benchmarking-Anwendung als auch die MIL dafür eingerichtet, verschiedene Zeitstempel am Ende spezifischer Operationen an den einzelnen Bildern zu erfassen:

#### ■ End-of-Grab (EoG):

In der ISR (Interrupt Service Routine) des Gerätetreibers erfasst, wenn die Erfassung eines Bildes in den Arbeitsspeicher des Boards abgeschlossen ist.

#### ■ End-of-Processing (EoP):

Ebenfalls in der ISR des Gerätetreibers erfasst, wenn die Übertragung des vom Board verarbeiteten Bildes an den Host abgeschlossen ist.

#### ■ Function Callback (FC):

Erfasst, wenn die Callback-Funktion durch die MIL aufgerufen wird, bevor das Bild auf dem Host (im Benutzermodus) verarbeitet wird.

# Framegrabber

## Whitepaper

Die Zeitstempel wurden dann dazu verwendet, die Variabilität bzw. den Jitter (in Millisekunden) bei der Reaktion auf diese Ereignisse zu bestimmen (siehe Tabelle).

		EoG	EoP	FC
First video stream	Average jitter	0.00405 ms	0.02190 ms	0.828 ms
	Worst-case jitter	0.12500 ms	0.28400 ms	8.199 ms
Second video stream	Average jitter	0.00586 ms	0.00932 ms	0.828 ms
	Worst-case jitter	0.10200 ms	0.25000 ms	8.643 ms

Gleichzeitig mit der Benchmarking-Anwendung wurden drei Anwendungen ausgeführt, die eine hohe Gesamtbelastung für den Rechner simulierten:

### ■ Anwendung 1

führte Pufferkopieroperationen in einer Schleife aus, um Bandbreite im Hostarbeitsspeicher zu belegen (d. h. 10 GB/s).

### ■ Anwendung 2

beschäftigte die CPU-Kerne. Jede Instanz der Anwendung beschäftigte einen CPU-Kern zu 99 %.

Für die Studie wurden neun Instanzen gestartet (neben der Benchmarking-Anwendung), um die zwölf CPU-Kerne voll auszulasten (siehe Abb. 1).

### ■ Anwendung 3

generierte Netzwerkaktivität, indem sie die Benchmarking-Anwendung und die oben genannten Anwendungen über eine Windows Remote Desktop-Sitzung startete und überwachte.

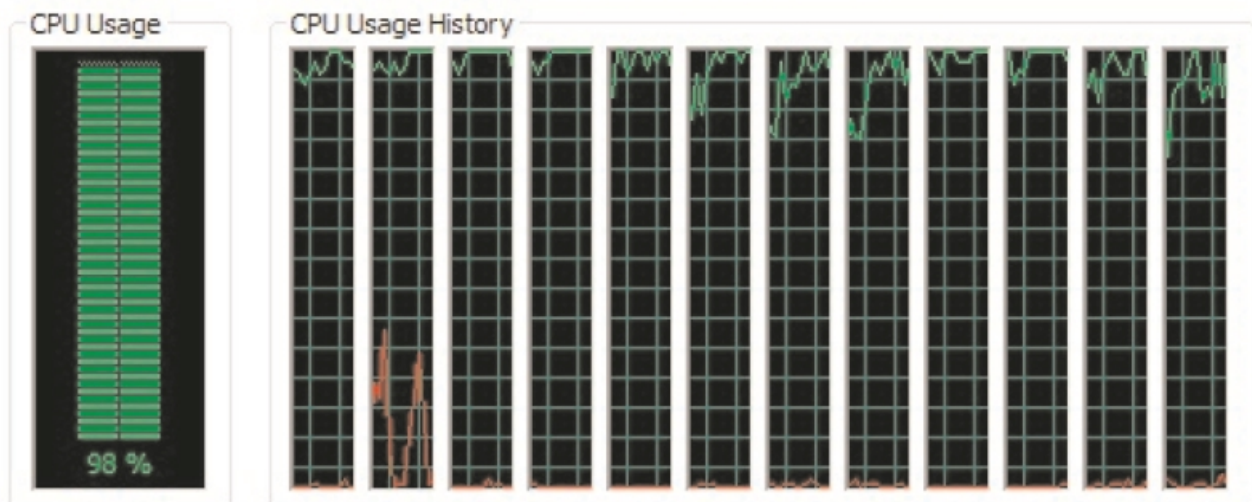
Tabelle 1 und die Abbildungen 2 bis 5 zeigen, dass trotz starker Auslastung der Systemressourcen (CPU, Arbeitsspeicher und Netzwerk) die Bilderfassungs- und Bildverarbeitungszeiten auf dem Board relativ stabil blieben und um die durchschnittliche Bilddauer lagen (1/630 fps oder 1,53 ms) und somit als deterministische Operationen ohne Bildverlust betrachtet werden können.

Die Jitter-Zeiten sind im schlimmsten Fall (siehe Spitzenwerte in den Abb. 2 und 4) im Vergleich zur durchschnittlichen Bilddauer relativ kurz (d. h. Zehntel-Millisekunden verglichen mit 1,53 ms).

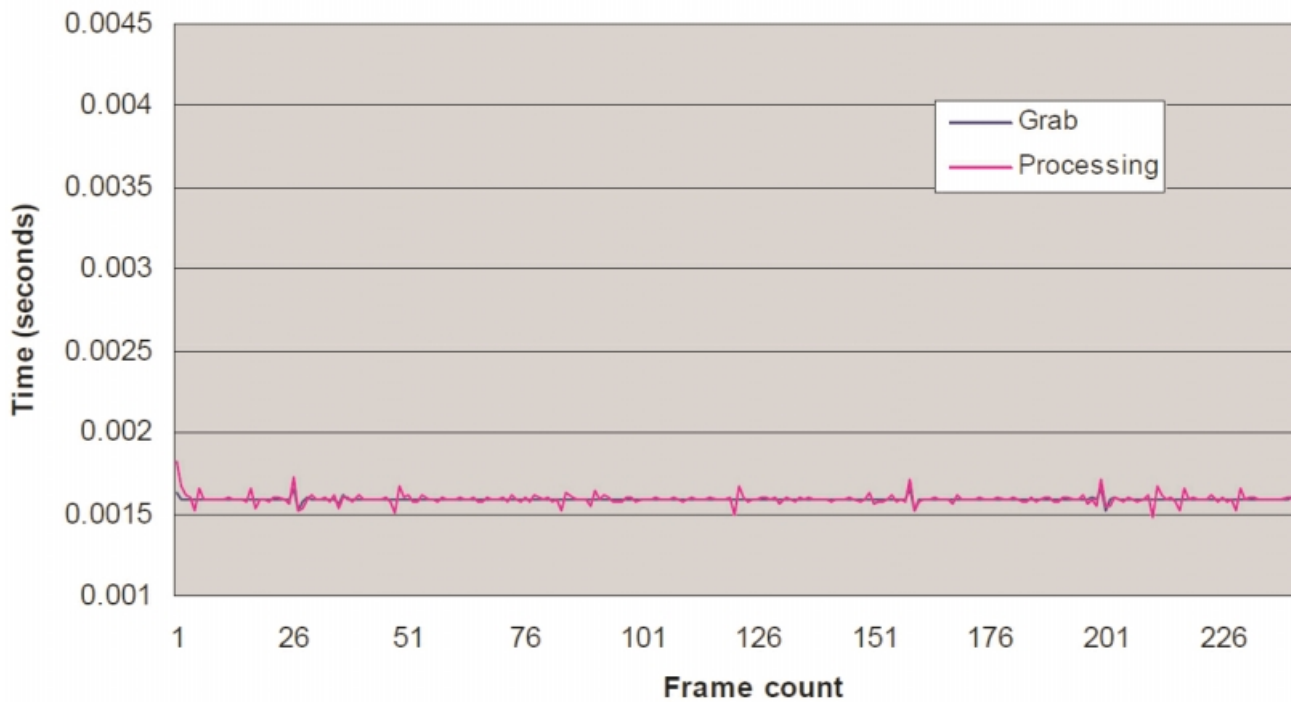
Wenn die Erfassungszeit über dem Durchschnitt lag, kompensierte der Queuing-Mechanismus der MIL dies außerdem durch eine schnellere Erfassung und Verarbeitung des nächsten Bildes (aus Sicht des Hosts).

Untersucht man den Function Callback Jitter (siehe Abb. 3 und 5), erklärt sich die hohe Variabilität durch die nicht deterministischen Antwortzeiten der Anwendungen im Benutzermodus, die durch den Mangel an verfügbaren Systemressourcen noch verschlechtert wurden. Diese Ressourcen waren mit anderen Aufgaben beschäftigt.

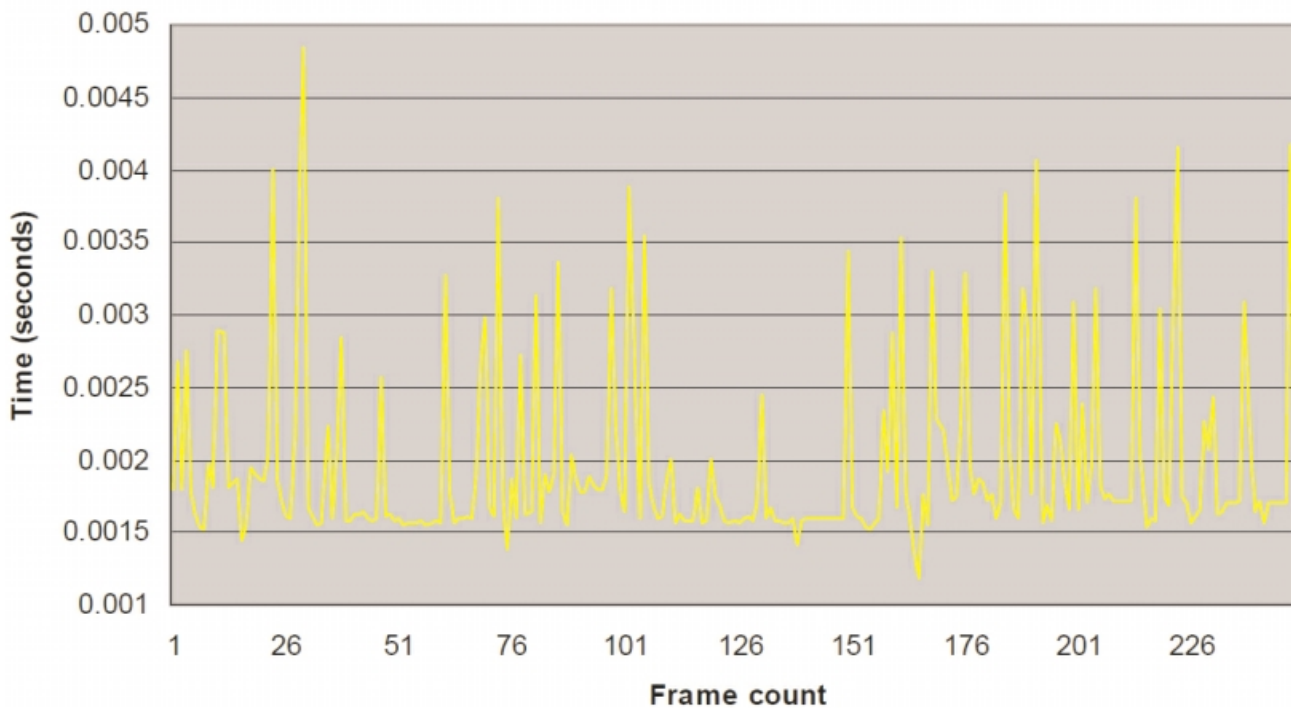
Dies zeigt die Abhängigkeit des Function Callback vom Host, im Gegensatz zur Bilderfassung, die Verarbeitung durch den FPGA auf dem Board und dem Datentransfer an den Host, die von der Performance des Matrox Radiant abhängen.



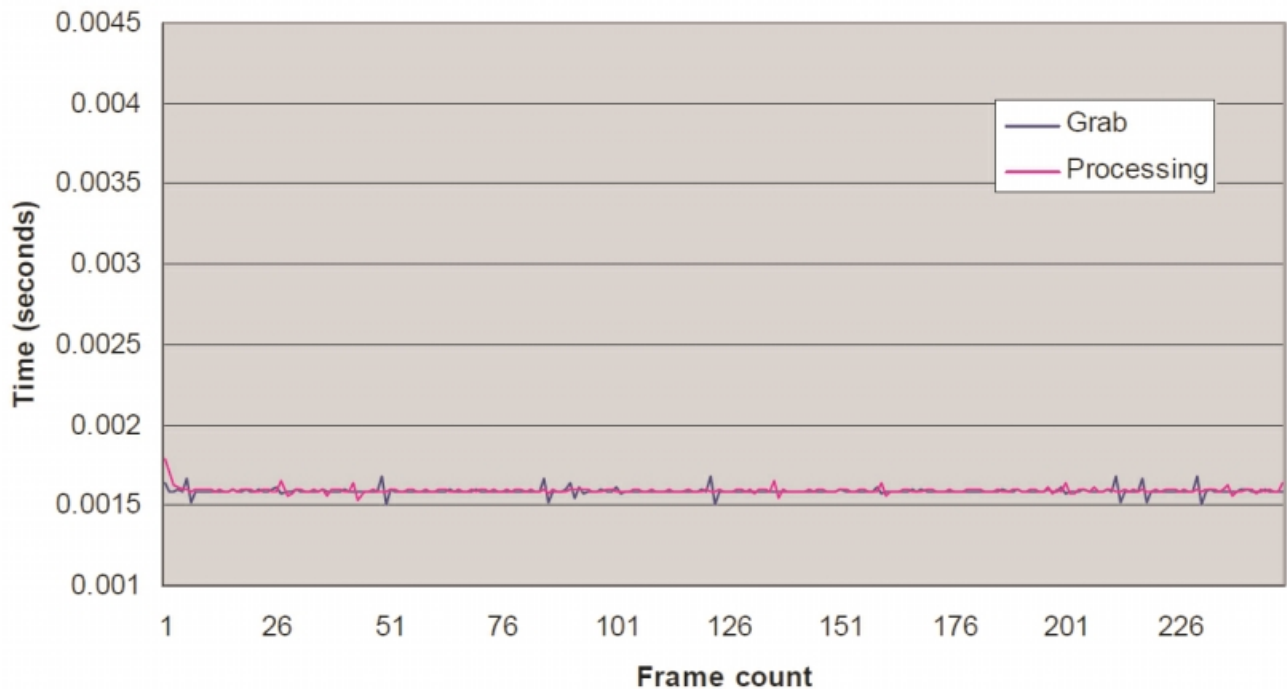
■ **Abbildung 1:** Grafik zur CPU-Auslastung, wenn alle Anwendungen ausgeführt werden



■ **Abbildung 2:** Jitter bei Ende der Bilderfassung und Verarbeitung auf dem Board für den ersten Videostream, über 250 Bilder erfasst



■ **Abbildung 3:** Function Callback Jitter für den ersten Videostream, über 250 Bilder erfasst



■ **Abbildung 4:** Jitter bei Ende der Bilderfassung und Verarbeitung auf dem Board für den zweiten Videostream, über 250 Bilder erfasst



■ **Abbildung 5:** Function Callback Jitter für den zweiten Videostream, über 250 Bilder erfasst

### Fazit

Die Studienergebnisse zeigen, dass der Framegrabber Matrox Radiant und die Matrox Imaging Library (MIL) mit ihrem Command-Queuing-Mechanismus erfolgreich zusammenarbeiten, um auf einem PC unter Windows eine zuverlässige Bilderfassung mit hoher Bandbreite und effektive Vorverarbeitung zu erzielen, und zwar unabhängig von den Aktivitäten im Benutzermodus, die Ressourcen im Hostsystem belegen.

# Matrox

## Framegrabber

für alle Auflösungen  
von PAL bis Full-HD



und alle Interfaces

- Analog
- Camera Link
- SDI
- DVI/HDMI
- IEEE 1394
- GigE Vision

# Matrox Framegrabber

Matrox ist seit über 30 Jahren der führende und richtungsweisende Hersteller von Hard- und Software für die Bildverarbeitung. Die umfangreiche und leistungsfähige Produktpalette wird weltweit erfolgreich eingesetzt in den Bereichen Machine Vision, Bildanalyse, Medizin und Videoüberwachung.

Matrox Imaging bietet das umfassendste Spektrum an Framegrabbern in jeder Preis- und Leistungsklasse – von Ultra Low-Cost bis hin zu High-End Vision Prozessorboards. Über 50 verschiedene Boards und die gemeinsame Softwareschnittstelle MIL unterstützen perfekt alle Flächen- und Zeilenkameras sämtlicher Hersteller.

Die Matrox Framegrabber beinhalten zahlreiche Hardware-Features: Look-up-Tables, Spiegeln der Bilddaten in X/Y-Richtung, Tap-Reconstruction, frei programmierbare Timer, Trigger- und I/O Leitungen, serielle Schnittstellen und vieles mehr.

## Analog Standard

		CronosPlus	Morphis 2VD/4VD	Morphis QxT	Morphis Evo
Monochrom	CCIR, RS-170	■	■	■	■
Farbe (PAL/NTSC)	FBAS	■	■	■	■
	S-Video (Y/C)	■	■		
unabhängige Kanäle		1	2/4	16	16
Kameras maximal		4	16	16	16
onboard Speicher			16 MB	128 MB	320 MB
Bus		PCI	PCI (-X), PCIe x1	PCIe x4	PCIe x1
<b>Besonderheiten/Optionen</b>			JPEG2000 optional	16x Audio	H.264 Encoder 16x Audio

## Analog RGB und Nicht-Standard

		Meteor-II MC	Solios XA/eA	Helios XA/eA
Monochrom		■	■	■
Farbe RGB		■	■	■
Nicht-Standard <sup>1</sup>		■	■	■
unabhängige Kanäle		3	4	4
Kameras maximal		6	8	8
maximale Bandbreite		30 MHz	65 MHz	200 MHz
onboard Speicher		4 MB	64 MB	256 MB
Bus		PCI	PCI (-X), PCIe x1/x4	PCIe x4
<b>Besonderheiten/Optionen</b>			Processing FPGA optional	Pixel- Accelerator ASIC

<sup>1</sup> Progressive Scan, Multi-Tap, High-Resolution

## Camera Link

	Solios XCL-B/eCL-B	Solios XCL	Solios eV	Helios XCL/eCL	Radiant eCL
Camera Link Base	1	2	2	2	4
Medium		1	1	1	2
Full			1	1	2
10Tap Extended-Full			■	■	■
maximaler Pixelclock	85 MHz	65 MHz	85 MHz	85 MHz	85 MHz
maximale Datenrate	255 MB/s	520 MB/s	850 MB/s	850 MB/s	1700 MB/s
onboard Speicher	64 MB	64 MB	256 MB	512 MB	2 GB
Bus	PCI (-X), PCIe x1	PCI (-X)	PCIe x4	PCI (-X), PCIe x4	PCIe x8
<b>Besonderheiten/Optionen</b>			Processing FPGA optional	Pixel- Accelerator ASIC	Processing FPGA optional

## Hybrid-Grabber für analog, SDI, DVI/HDMI

		VIO SDI	Orion HD
Analog Monochrom	CCIR, RS-170	■	■
Analog Farbe (PAL/NTSC)	FBAS	■	■
	S-Video (Y/C)	■	■
	RGB	■	■
HD/SD analog		■	■
VGA analog	bis 1280 x 1024	■	■
	bis 1920 x 1200		■
DVI	bis 1920 x 1200		■
HD/SD SDI <sup>1</sup>	576i/50	■	■
	480i/60	■	■
	720p/60	■	■
	1080i/60	■	■
	1080p/60		■
unabhängige Kanäle <sup>2</sup>	analog	1	2
	DVI		2
	HD/SD SDI	1	2
onboard Speicher		128 MB	1 GB
Bus		PCIe x4	PCIe x16
<b>Besonderheiten/Optionen</b>		Videoausgang in allen Formaten	Dual-Videoausgang in allen Formaten GPU onboard HDMI über Adapter

<sup>1</sup> i = interlaced Halbbilder p = progressive Vollbilder

<sup>2</sup> Bei Orion HD maximal nutzbar: 2 Kanäle in beliebiger Kombination analog, DVI, SDI

## Framegrabber – Firewire und GigE Vision

	Concord 3F	Concord 1G	Solios GigE
Firewire IEEE1394b	■		
GigE Vision		■	■
Anzahl Ports	3	1	4
Unterstützung Jumbo-Frames		■	■
onboard Speicher			128 MB
Bus	PCI, PCIe x1	PCI, PCIe x1	PCIe x4
<b>Besonderheiten/Optionen</b>			Protocol-Offload-Engine

## MIL Lite – das hardwareunabhängige SDK



Die Matrox Imaging Library (MIL) ist eine umfangreiche und leistungsstarke Softwarebibliothek, die seit über 15 Jahren weltweit erfolgreich für alle Aufgaben in der Bildverarbeitung, Bildanalyse und Videoüberwachung eingesetzt wird.

MIL bietet eine einheitliche und transparente Programmierschnittstelle (API). Unabhängig, ob Standard-PC oder High-Performance Computer, ob Framegrabber oder Netzwerkkarte mit GigE Vision Kamera oder ob die Bildverarbeitung direkt auf einer intelligenten Kamera läuft – die Programmierung und Ansteuerung der Hardware erfolgt immer mit MIL.

Damit kann ein einmal erstellter Programm-Code ohne jede Softwaremodifikation auf jeder beliebigen Hardware-Plattform ausgeführt werden.

Mit MIL-Lite erhalten Sie ein lizenzfreies Basis SDK für den Bildeinzug, Bildverarbeitung mit Standardoperationen, Bilddarstellung und Bildausgabe.

MIL enthält zusätzlich optimierte Module für High-Level Bildverarbeitung wie Mustererkennung, OCR, 3D Analyse und vieles mehr.

MIL und MIL-Lite sind optimiert auf die unterschiedlichsten Hardware-Plattformen und CPU-Architekturen und unterstützen die Betriebssysteme Windows und Linux in 32 und 64 Bit.

Matrox als großer Anbieter von Hard- und Software bietet Ihnen mit MIL und MIL-Lite für Ihre Softwareentwicklung Stabilität, Performance und Zukunftssicherheit.



Johann-G.-Gutenberg-Str. 20 · D-82140 Olching  
 Telefon 0 8142/4 48 41-0 · Fax 0 8142/4 48 41-90  
 eMail info@rauscher.de · www.rauscher.de