



White Paper

Auswahl und Integration von ARM[®]-basierten Boards für Machine Vision Anwendungen.

Verwendung von ARM[®]-basierten Hardwareplattformen mit Industriekameras unter Linux[®]

Die Verwendung einer ARM[®] Architektur für die industrielle Bildverarbeitung ist für viele Anwendungen eine Alternative zur Nutzung von PCs. In diesem White Paper erfahren Sie, was Sie zur Auswahl und Einbindung geeigneter ARM[®]-basierter Hardwareplattformen für Embedded Vision Systeme wissen müssen. Es werden Auswahlkriterien dargestellt und ausgewählte Boards untersucht. Des Weiteren wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten der Software-Einbindung existieren und wie dies beispielhaft mit dem Baumer GAPI Software Development Kit (SDK) für ARM[®]-basierte Boards realisiert werden kann.

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Vorteile von ARM® Prozessoren für Embedded Systeme	3
3	Auswahlkriterien für ARM®-basierte Boards	4
4	Softwareportierung auf eine ARM®-basierte Plattform	5
5	Software Auslieferungspakete Baumer GAPI SDK für ARM® Prozessoren	5
6	Zusammenfassung	6
7	Quellen	6
8	Autoren	7

1 Einleitung

Die meisten Anwendungen der industriellen Bildverarbeitung setzen PC-basierte Systeme ein. Embedded Vision Systeme gewinnen jedoch zunehmend an Bedeutung aufgrund ihrer stetig steigenden Rechenleistung, kompakten Grösse und niedrigen Systemkosten.

Entwickelt werden Embedded Systeme für spezifische Aufgabenstellungen. Die verwendeten CPUs sind deswegen unterschiedlich und auf Stromverbrauch, Grösse und Kosten hin optimiert. Als CPU können dabei ARM® Prozessoren eingesetzt werden, so wie in vielen Consumer Produkten, oder Digitale Signalprozessoren (DSP) bzw. Kombinationen von FPGA (Field Programmable Gate Array) und ARM® Prozessoren (System-on-chip, z.B. Xilinx® Zynq®). Vor allem ARM® Prozessoren verbreiteten sich in den letzten Jahren dank ihrer geringen Verlustleistung bei gleichzeitig hoher Rechenleistung sehr stark – hauptsächlich in mobilen Anwendungen, z.B. in Smartphones. Aufgrund der hohen Stückzahlen im Consumer Bereich steht mittlerweile eine Vielzahl leistungsstarker ARM®-basierter Boards preiswert zur Verfügung. Somit können neue Anwendungsfelder erschlossen werden, u.a. im Bereich der industriellen Bildverarbeitung.

Ein typisches Beispiel für ein ARM®-basiertes Board ist das ODROID-XU4. Es bietet im Kreditkartenformat alle wichtigen Schnittstellen für einen autarken Betrieb und verwendet Linux® als Betriebssystem. Die aktuell am Markt zur Verfügung stehenden Boards können entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit für unterschiedliche Machine Vision Applikation entweder direkt eingesetzt oder für eine Vorentwicklung genutzt werden, um im Ergebnis ein eigenes, anwendungsspezifisches Board zu erstellen. Auf diese Weise können langfristige, optimale Lösungen realisiert werden – ein wichtiger Aspekt für industrielle Anwendungen und deren Anforderung an die Langzeitverfügbarkeit aller Komponenten.

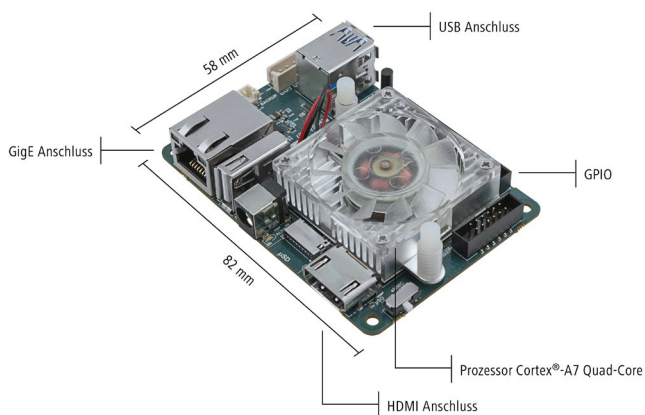


Abbildung 1: ODROID-XU4

2 Vorteile von ARM® Prozessoren für Embedded Systeme

Die Verwendung von ARM® Prozessoren für Embedded Systeme bietet verschiedene Vorteile im Vergleich zu Intel® Prozessoren, wie sie in herkömmlichen PCs verwendet werden:

- **Energieeffizienz:** ARM® Prozessoren zeichnen sich durch einen besonders geringen Energieverbrauch aus.

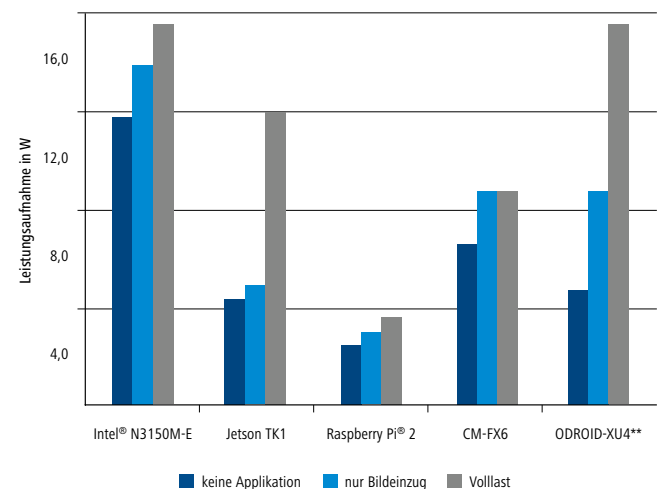


Abbildung 2: Leistungsaufnahme ARM® vs. Intel®

** Der ODROID-XU4 nutzt als einzige Plattform in diesem Diagramm acht Kerne (die anderen verfügen über vier Kerne)

- **Kompaktheit:** ARM®-basierte Systeme bieten bei geringerer Grösse und kleinerem Gewicht Vorteile bei der Integration in ein übergeordnetes System bspw. in eine Maschine. Durch die kompakte Bauweise können sie zudem in bestehende Systeme einfacher nachgerüstet werden. Auch die mögliche Dezentralisierung der Rechenleistung bietet neue Ansätze für Systemkonzepte.
- **Kosten:** Auf dem Markt der Embedded Systeme sind ARM® Prozessoren sehr verbreitet. Auch nahezu jedes Smartphone oder Tablet ist damit ausgerüstet. Dadurch steht eine Vielzahl preiswerter ARM® Prozessoren zur Verfügung, um kostengünstige Systeme zu realisieren.
- **Performance:** Es gibt zahlreiche ARM®-basierte Plattformen verschiedener Anbieter in unterschiedlichen Bauformen und Leistungsklassen. Getrieben durch Innovationen im Consumer Bereich wird es auch in den kommenden Jahren deutliche Leistungssteigerungen bei den ARM® Prozessoren geben.
- **Betriebssysteme:** Gut etabliert konnte sich Linux® vor allem in Embedded Applikationen, wo es für fast alle Evaluierungsplattformen verfügbar ist. Bestehende Softwarelösungen für die Bildverarbeitung können auf die ARM®-basierten Plattformen einfach und ohne Neuentwicklung portiert werden. Weiterhin werden die Betriebssysteme Android und Windows® von einigen Plattformen unterstützt.

3 Auswahlkriterien für ARM®-basierte Boards

Am Markt werden zahlreiche ARM®-basierte Hardwareplattformen angeboten, die entsprechend den Anforderungen der spezifischen Applikation zu bewerten sind. Typische Auswahlkriterien für Machine Vision Applikationen sind bspw.:

- Prozessor: Welcher ARM® Prozessor ist geeignet? Wie hoch ist die CPU-Last für den Bildeinzug?
- Schnittstellen: Welche Schnittstellen stehen mit welcher Bandbreite zur Verfügung, z.B. GigE?
- Funktionalität: Welche Linux® Distribution wird verwendet? Werden z.B. „Jumbo-Frames“ unterstützt?

In der folgenden Tabelle sind Boards aufgeführt, die von Baumer für Machine Vision Anwendungen erfolgreich getestet wurden.

ARM®-basiertes Board	Linux® Distribution
NVIDIA® Jetson TK1 [2]	Linux® for Tegra® (Ubuntu® 14.04)
Raspberry Pi® 2 Model B [1]	Raspbian
CompuLab CM-FX6 (SBC-FX6) [4]	Debian®
ODROID-XU4 [3]	Ubuntu® 15.04

Tabelle 1: Übersicht getesteter ARM®-basierter Plattformen

Das wichtigste Auswahlkriterium für eine geeignete Plattform ist der Prozessor. Da Bildverarbeitungsanwendungen in der Regel sehr komplexe Systeme sind, die eine hohe Rechenleistung benötigen, kommen nahezu ausschliesslich Prozessoren der Cortex®-A Familie in Frage. Diese sind speziell dafür entwickelt, komplexe Aufgaben zu lösen und weisen dabei eine dennoch möglichst hohe Energieeffizienz auf. Die Cortex®-A Prozessoren sind die bisher einzigen ARM® Prozessoren (Stand: November 2015), die ein vollwertiges Betriebssystem ausführen können. Einige Boards haben zudem spezielle Grafikprozessoren (GPU), die genau auf die Aufgaben der Bildverarbeitung abgestimmt sind.

ARM®-basiertes Board	USB	Ethernet	HDMI
NVIDIA® Jetson TK1 [2]	2.0 / 3.0	100 / 1000 MBit	yes
Raspberry Pi® 2 Model B [1]	2.0	100 MBit	yes
CompuLab CM-FX6 (SBC-FX6) [4]	2.0	100 / 1000 MBit	yes
ODROID-XU4 [3]	2.0 / 3.0	100 / 1000 MBit	yes

Tabelle 2: Übersicht Schnittstellen der getesteten ARM®-basierten Plattformen

Das folgende Diagramm zeigt beispielhaft die Prozessorauslastung (gemessen mit optimierten Netzwerkeinstellungen) für zwei ARM®-basierte Plattformen für den Bildeinzug von einer Kamera (ohne Bildverarbeitung). Dabei wurde die GigE Schnittstelle verwendet und eine Kameraeinstellung gewählt, die die Ethernet Bandbreite maximal ausnutzt. Untersucht wurde zum einen das Raspberry Pi® 2 (Model B) mit nur einem Prozessor der ARM® Cortex®-A7-basierten Architektur mit vier Kernen und einer maximalen Taktfrequenz von 900 MHz, zum anderen das leistungsstarke Evaluierungsboard Jetson TK1 der Firma NVIDIA® mit einem Prozessor mit ARM® Cortex®-A15-basierter Technologie. Dieser verfügt ebenfalls über vier Kerne, weist aber eine maximale Taktfrequenz von 2,3 GHz auf.

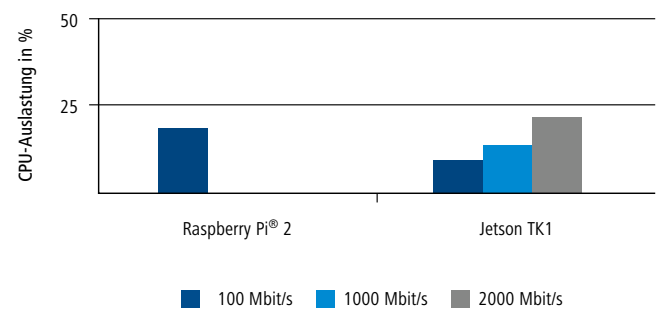


Abbildung 3: CPU-Auslastung für den Bildeinzug in Abhängigkeit von der Datenrate (maximale Datenraten nur geringfügig kleiner als die theoretischen Werte)

Die zur Verfügung stehenden Schnittstellen eines Boards sind ebenfalls entscheidend bei der Auswahl für eine Applikation. Für Machine Vision Anwendungen sind das vor allem die Ethernet und die USB 3.0 Schnittstelle zur Kameraanbindung. Neben ausreichend USB Anschlüssen, die für die Verwendung von Eingabegeräten benötigt werden, ist auch der zu verwendende Video-Ausgang entscheidend. Für die Evaluierung ist meist das Anschliessen eines Monitors notwendig, wofür die Evaluierungsplattformen typisch HDMI Anschlüsse bereitstellen. Um eine Integration in ein System zu ermöglichen, bieten viele Plattformen weitere Schnittstellen wie z.B. Display Interface (DSI) oder Display Port. Eine weitere Schnittstelle wird durch GPIO-Pins geboten, die die Verwendung weiterer Peripheriegeräte ermöglichen.

Für optimale Ergebnisse bei der Verwendung der Gigabit Ethernet Schnittstelle ist aufgrund der grossen Datenmengen eines Kamerasystems eine MTU-Grösse (d.h. Grösse der einzelnen Ethernet Pakete) von 9000 Byte zu empfehlen. Kleinere Paketgrössen sind ebenfalls geeignet, führen jedoch zu einer höheren CPU-Last. Ob ein Ethernet Controller diese sogenannten «Jumbo-Frames» unterstützt, wird üblicherweise in den Datenblättern der entsprechenden Anbieter angegeben.

4 Softwareportierung auf eine ARM®-basierte Plattform

Bestehende Softwarelösungen für die Bildverarbeitung können auf eine ARM®-basierte Plattform portiert werden. Möglich ist dies bspw. mit dem Baumer GAPI Software Development Kit für ARM® Prozessoren. So können einmal entwickelte Anwendungen auf eine ARM®-basierte Plattform, ohne Neuentwicklung, einfach portiert werden. Wurde die Software bisher auf einem Linux® System verwendet, erfolgt die Softwareportierung einfach durch Verwendung eines anderen Compilers. Dabei kann die Softwareportierung sowohl durch Cross-Compiling als auch durch Native-Compiling erfolgen.

Beim Cross-Compiling wird das Erstellen der Software auf einem separaten Hostsystem durchgeführt. Dies kann ein deutlicher Geschwindigkeitsvorteil bei der Entwicklung sein, da entsprechende leistungsstarke Cross-Toolchains verfügbar sind. Sie beinhalten alle notwendigen Programme (Compiler, Linker, usw.) sowie Header und Bibliotheken des Zielsystems zum Erstellen der ARM®-kompatiblen Softwareversion. Gut geeignet zeigt sich dabei die Toolchain von Linaro^[5]. Die erstellte Software wird anschliessend auf dem eigentlichen Zielsystem verwendet und ist auf das Wesentliche reduziert. Unter Native-Compiling wird die Übertragung aller Quellcodedateien der Software auf die ARM®-basierte Plattform verstanden, so dass die Softwareerstellung direkt auf der Plattform erfolgt. Dazu muss dort ebenfalls eine Toolchain vorhanden sein. In der Regel sind Compiler für C/C++ und die entsprechenden Linker bereits in den Betriebssystemen

der ARM®-basierten Plattformen enthalten. Ist dies nicht der Fall, können diese nachinstalliert werden. Ist die Bildverarbeitungssoftware auf einem Windows® System entworfen worden, ist es notwendig, die spezifischen Systemaufrufe für ein Linux® System anzupassen oder zu adaptieren.

5 Software Auslieferungspakete Baumer GAPI SDK für ARM® Prozessoren

Das Baumer GAPI SDK für ARM® Prozessoren beinhaltet alle notwendigen Komponenten zur Einbindung und Dokumentation. Es beinhaltet zum einen Standardpakete, mit denen die Evaluierungskits verschiedener Hersteller direkt verwendet werden können, zum anderen Basispakete, mit deren Hilfe Eigenentwicklungen vorgenommen werden können. Die Basispakete beinhalten alle notwendigen Bibliotheken und Softwarebestandteile, um die vollständige Einbindung von GigE Kameras in eine Bildverarbeitungssoftware zu ermöglichen. Zur Verfügung stehen Pakete für hard- und softfloat Prozessoren der ARM® ARM7™ Familie. Damit können flexibel Entwicklungen auf verschiedensten Systemen und Linux® Betriebssystemen realisiert werden. Tools für eine Anzeige oder einfache Oberfläche sind nicht Bestandteil. Getestet wurden die Pakete mit den in Tabelle 3 aufgeführten ARM®-basierten Plattformen und den entsprechenden Linux® Betriebssystemen.

Die Standardpakete enthalten zugeschnittene und getestete Installationspakete für aktuell verfügbare Evaluierungskits. Diese Pakete sind auf das jeweilige vom Hersteller des ARM®-basierten Boards empfohlene Betriebssystem zugeschnitten und dienen der einfachen und schnellen Evaluierung einer Industriekamera. Das zusätzlich enthaltene Visualisierungstool Baumer Camera Explorer Visualisierungstool ermöglicht die sofortige Inbetriebnahme einer Kamera auf dem gewählten ARM®-basierten Board. Erste Tests können damit einfach und ohne Entwicklungsaufwand gestartet werden.

Folgende Standardpakete stehen zur Verfügung:

ARM®-basiertes Board	Betriebssystem (OS)	OS Version	Release Date
NVIDIA® Jetson TK1	Linux® for Tegra® (Ubuntu® 14.04)	R21.4	Juli 2015
Raspberry Pi® 2	Raspbian	Jessie	September 2015
CompuLab CM-FX6 (SBC-FX6)	Debian®	7.8	November 2015
ODROID-XU4	Ubuntu® 15.04	20150710	Juli 2015

Tabelle 3: Standardpakete für ARM®-basierte Boards

Das Baumer GAPI SDK für ARM® Prozessoren kann über den Support von Baumer bezogen werden: support.cameras@baumer.com. Für die Installation und Evaluierung der einzelnen Standardpakete und die verschiedenen Boards stehen von Baumer weiterhin jeweils separate Application Notes zur Verfügung. Diese sind über den Member Bereich auf der Webseite erhältlich.

6 Zusammenfassung

Der Markt bietet eine breite und stetig zunehmende Auswahl an leistungsstarken ARM®-basierten Hardwareplattformen. Durch Innovationen im Consumer Bereich wird es weiter deutliche Leistungssteigerungen geben, die eine Verwendung von ARM®-basierten Boards als Alternative zu PCs für Machine Vision Anwendungen zunehmend ermöglichen. Mit Evaluierungsboards verschiedener Hersteller und einem SDK wie dem Baumer GAPI SDK für ARM®-basierte Plattformen können bestehende Machine Vision Anwendungen portiert, entwickelt und einfach evaluiert werden. Das Baumer GAPI SDK dient dabei als Schnittstelle zwischen Kamera und Bildverarbeitungssoftware und steht fertig für verschiedene Boards zur Verfügung. Im Ergebnis einer Evaluierung können eigene, passende Hardwarelösungen entwickelt werden.

7 Quellen

- [1] <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>
- [2] <http://www.nvidia.com/object/jetson-tk1-embedded-dev-kit.html>
- [3] <http://www.hardkernel.com/main/main.php>
- [4] <http://www.compulab.co.il/products/computer-on-modules>
- [5] <http://www.linaro.org/>

8 Autoren



Torsten Wehner
Product Management



Martin Dödtmann

Baumer Optronic GmbH
Badstrasse 30
DE-01454 Radeberg
Phone +49 3528 4386 0
Fax +49 3528 4386 86

Baumer Group

Die Baumer Group ist einer der international führenden Hersteller von Sensoren, Drehgebern, Messinstrumenten und Komponenten für die automatisierte Bildverarbeitung. Baumer verbindet innovative Technik und kundenorientierten Service zu intelligenten Lösungen für die Fabrik- und Prozessautomation und bietet dafür eine einzigartige Produkt- und Technologiebreite. Das Familienunternehmen ist mit rund 2.300 Mitarbeitern und Produktionswerken, Vertriebsniederlassungen und Vertretungen in 38 Niederlassungen und 19 Ländern immer nahe beim Kunden. Mit weltweit gleichbleibend hohen Qualitätsstandards und einer grossen Innovationskraft verschafft Baumer seinen Kunden aus zahlreichen Branchen entscheidende Vorteile und messbaren Mehrwert. Weitere Informationen im Internet unter www.baumer.com.