

WHITEPAPER

Zukunftssichere Videokomprimierung in modernen Sicherheitssystemen

Juni 2026

Zusammenfassung

Die Videosicherheitsbranche stellt derzeit vom seit langem etablierten Standard für Videokomprimierung H.264 auf AV1 um. Dieser neuere Codec kann den steigenden Anforderungen an Bandbreite und Speicherplatz, die moderne Videos mit hoher Auflösung mit sich bringen, besser gerecht werden. Im Gegensatz zu H.265, dessen Entwicklung durch komplexe Lizenzbedingungen gebremst wurde, bietet AV1 eine lizenzgebührenfreie¹, hocheffiziente Alternative, die von führenden Technologieunternehmen unterstützt wird.

Axis hat die AV1-Unterstützung in Kameras integriert, die auf dem System-on-Chip ARTPEC-9 basieren. Der Fokus der Implementierung liegt auf Funktionen, die für Anwendungen der Videosicherheit relevant sind, und nicht auf Funktionen, die speziell auf die Übertragung ausgerichtet sind. Dies bietet eine mit H.265 vergleichbare Komprimierungseffizienz, ohne dass dadurch höhere Hardwarekosten oder ein höherer Stromverbrauch entstehen. AV1 ist mit bestehenden Axis Technologien wie Zipstream kompatibel und aktiviert zudem neue Funktionen, darunter Toggable overlays und das AVIF-Format für Standbilder.

AV1 baut auf denselben Kernprinzipien der blockbasierten Komprimierung, der Schätzung der Bewegung und der Transformationskodierung auf, die auch bei H.264 und H.265 zum Einsatz kommen, führt jedoch flexiblere Prädiktionsmechanismen ein. Es ersetzt starre P-Frames und B-Frames durch vielseitige I-Frames und effizientere Key-Frames. Die Bildaufteilung erfolgt präziser, da Superblöcke verwendet werden, die in verschiedene Formen und Seitenverhältnisse unterteilt werden können.

Speziell für die Videosicherheit ermöglichen globale und verzerrte Werkzeuge für die Bewegung dem Encoder, Kamerabewegungen mit minimalem Datenaufwand zu verarbeiten. Switch-Frames ermöglichen das Streaming mit adaptiver Bitrate, da sie die Auflösung ändern können, ohne dass ein neuer, eigenständiger Key-Frame erforderlich ist. Die technische Qualität wird durch eine höhere interne Bittiefe, verschiedene Transformationstypen und fortschrittliche In-Loop-Filter gewährleistet. Diese Verbesserungen werden durch einen nichtbinären arithmetischen Codierer unterstützt, der für eine effiziente Implementierung auf Hardware-Ebene und eine schnellere Verarbeitung ausgelegt ist.

¹ Die Benutzer sollten sicherstellen, dass sie die Lizenzbedingungen für die AV1-Videotechnologie verstanden haben.

Inhalt

1	Einführung	4
2	Die Notwendigkeit eines neuen Standards für die Komprimierung	4
3	Einführung von AV1	5
4	Vorteile von AV1 in der Videosicherheit	5
5	Implementierung von AV1 durch Axis	5
5.1	Zipstream und AV1: gemeinsam besser	6
5.2	Neue Funktionen mit AV1	6
5.2.1	Toggable overlays	6
5.2.2	AVIF (AV1-Bildformat)	6
6	Bitrate-Effizienz von AV1, H.264 und H.265	7
6.1	Beispiele für Szenen	7
6.2	Vergleich von Codecs: Qualität forensischer Videoaufnahmen im Vergleich zur Bitrate	9
7	Technische Grundlagen von AV1	9
7.1	Verfeinerte Frame-Typen und Vorhersage	9
7.1.1	Das in H.264 und H.265 etablierte I-P-B-Framework	10
7.1.2	Der flexible Ansatz von AV1 bei der Inter-Prädiktion	10
7.2	Erweiterte Programmierwerkzeuge	10
7.3	Funktionen zur Steigerung der betrieblichen Effizienz	11
7.4	Verarbeitung und Filterung	11
8	Leitfaden zur technischen Integration	12
8.1	Streaming und Dekodierung von AV1-Videos in Axis Geräten	12
8.2	Wichtige Überlegungen für Entwickler	12
8.2.1	Abrufen von AV1-Streams	12
8.2.1.1	Standardprotokolle	12
8.2.1.2	WebRTC	12
8.2.2	Dekodierung und Wiedergabe von AV1-Streams	13
9	Markenzuordnungen	13

1 Einführung

Seit über zwei Jahrzehnten ist H.264 (AVC) der vorherrschende Standard für die Videokomprimierung in der Videosicherheit und ähnlichen Anwendungen und bietet ein zuverlässiges Gleichgewicht zwischen Bitrate und Bildqualität. Moderne Sicherheitssysteme sehen sich jedoch mit beispiellosen Anforderungen an die Datenverarbeitung konfrontiert. Höhere Auflösungen, eine größere Anzahl von Kameras und der zunehmende Einsatz cloudbasierter Analysefunktionen bringen die Netzwerkbandbreite und die Speicherkapazitäten an ihre Grenzen. Die Branche ist gewachsen, weshalb sich auch die Komprimierungstechnologie entsprechend weiterentwickeln musste.

Zwar galt H.265 einst als der naheliegende Nachfolger, doch haben komplexe Lizenzen dessen Einführung verlangsamt. Im Gegensatz dazu bietet der neuere Standard AV1 eine überlegene Effizienz bei der Komprimierung in Verbindung mit umfassender IT-Unterstützung und einem ausgereiften Ökosystem. Es handelt sich um einen offenen, kostenfreien Codec, der von den weltweit führenden Technologieunternehmen unterstützt wird und speziell auf die Anforderungen moderner Video-Technik zugeschnitten ist.

Vor vielen Jahren führte Axis die Branche in das H.264-Zeitalter, indem das Unternehmen als erster Hersteller von Überwachungskameras den H.264-Standard in seinen Produkten einsetzte. Nun führt Axis AV1 in der Branche ein.

Dieses Whitepaper befasst sich mit AV1 im Bereich der Videosicherheit – von der Komprimierungseffizienz über die Unterstützung durch das Ökosystem bis hin zur praktischen Integration. Es enthält Bitratenvergleiche, eine ausführliche technische Erläuterung der Funktionsweise von AV1 sowie einen Leitfaden für Entwickler zur Integration von Axis-Geräten.

2 Die Notwendigkeit eines neuen Standards für die Komprimierung

Ohne Videokomprimierung wären das Streamen und Speichern von Videos nahezu unmöglich. Ein Standard-1080p-Video mit 30 Bildern pro Sekunde würde ohne jegliche Komprimierung fast 1 Gbit/s beanspruchen. Bei einer derart hohen Bitrate wäre eine 1-TB-Festplatte bereits nach weniger als drei Stunden Aufzeichnung voll, und ein herkömmliches Netzwerk wäre nicht in der Lage, das Video einer einzigen Kamera zu übertragen. Mit einer 8K-Kamera, die eine außergewöhnlich hohe Bildqualität liefert, würden Sie dieselbe Festplatte in etwa 30 Minuten füllen.

Video-Encoder komprimiert Videodaten erheblich, wodurch das Streamen, Speichern und Übertragen von Überwachungsvideos in großem Umfang praktikabel wird.

Zwar bot H.265 gegenüber H.264 Verbesserungen, die höhere Kamera-Auflösungen und eine geringere Bitrate ermöglichten, doch belastet die schiere Anzahl der eingesetzten Kameras weiterhin die Netzwerkbandbreite und die Infrastruktur für Speicher. Da die Branche mittlerweile über die 4K-Auflösung hinausgeht, reicht eine schrittweise Verbesserung der Komprimierung nicht mehr aus.

Darüber hinaus basieren moderne Video-Encoder auf Verfahren der Komprimierung, die im Laufe der Jahre von vielen verschiedenen Unternehmen und Forschern entwickelt wurden. Eine erhebliche Herausforderung sowohl bei H.264 als auch bei H.265 waren daher die fragmentierten und oft unvorhersehbaren Patentlizenzierungsmodelle. H.265 sah sich mit zahlreichen Patentpools und einzelnen Patentinhabern konfrontiert, was für Hersteller und Benutzer ein undurchsichtiges und kostspieliges Ökosystem erstellte. Diese Komplexität hat die Einführung behindert, die Kompatibilität eingeschränkt und bei der Implementierung zu unvorhergesehenen Kosten geführt. Dies hat sogar dazu geführt, dass einige große Hardwarehersteller damit begonnen haben, die H.265-Hardwareunterstützung aus bestehenden Produkten zu entfernen.

Die Sicherheitsbranche benötigt einen Codec, der nicht nur eine hervorragende Komprimierung bietet, sondern auch auf einer transparenten, zugänglichen und zukunftssicheren Grundlage basiert.

3 Einführung von AV1

Der AV1-Standard für Videokomprimierung wurde von der Alliance for Open Media (AOMedia) entwickelt, einem Konsortium, das mit dem Ziel gegründet wurde, ein offenes, kostenfreies Videoformat zu erstellen. Heute ist AV1 der bevorzugte Codec großer Streaming-Anbieter wie Netflix und YouTube. Es wird von allen gängigen Desktop-Betriebssystemen (Windows®, macOS® und Linux®) sowie mobilen Plattformen (Android™ und iOS®) unterstützt.

Als offener Standard, der von Unternehmen wie Amazon, Apple, Cisco, Google, Intel, Meta, Microsoft, Mozilla, Netflix, Nvidia und Samsung im Rahmen von AOMedia unterstützt wird, verfügt AV1 über hervorragende langfristige Aussichten. Sein offener Charakter bedeutet zudem weniger Unsicherheiten bei der Lizenzierung und geringere Patentkosten als bei anderen Codecs.

Die Einführung von VMS schreitet voran, wobei mehrere branchenführende Anbieter, darunter Milestone, Genetec und Axis, diese Technologie bereits unterstützen. Der Web-Client vieler VMS-Lösungen, darunter auch AXIS Camera Station Pro, profitiert von nativer AV1-Unterstützung – etwas, das H.265 selbst nach einem Jahrzehnt auf dem Markt nur schwer erreichen konnte. Dank ausgereifter Open-Source-Bibliotheken und -Tools ist die Integration der AV1-Unterstützung relativ unkompliziert.

Axis arbeitet aktiv mit Branchenverbänden wie ONVIF® zusammen, um die Interoperabilität im Zusammenhang mit AV1 voranzutreiben. Axis ist der Ansicht, dass die derzeitige ONVIF-Videostreaming-Methode bereits auf AV1 abgestimmt ist, und geht davon aus, dass eine breitere Akzeptanz in der Branche den Weg für die formelle Aufnahme in einen ONVIF-Standard ebnen wird.

Was die Hardware betrifft, so verfügen moderne CPUs mittlerweile weitgehend über einen integrierten AV1-Decoder. Zwar unterstützt ein Teil der zwischen 2015 und 2020 hergestellten Hardware zwar H.265, nicht jedoch AV1, doch aufgrund der raschen Ausweitung der AV1-Hardwareunterstützung in modernen Geräten schließt sich diese Lücke zusehends. So ist beispielsweise die AXIS Camera Station S2216 Mk II Rack Appliance eine Lösung für die Aufzeichnung, die Hardware-Unterstützung für die AV1-Decodierung von 16 Kanälen ohne dedizierte GPU bietet. Doch selbst typische Laptop-CPUs sind in der Lage, 8K30-AV1-Streams zu verarbeiten. Zudem verfügen immer mehr Smartphones und Tablets über AV1-Hardware-Decoder, wodurch Bedenken hinsichtlich des Akkuverbrauchs oder der Verzögerung bei der Wiedergabe auf Mobilgeräten entfallen.

4 Vorteile von AV1 in der Videosicherheit

Zwar war AV1 ursprünglich nicht für die Videosicherheit konzipiert, doch dies galt auch für H.264 und H.265. Das allen Standards zugrunde liegende Verfahren der Komprimierung ist jedoch äußerst anpassungsfähig, und die AV1-Implementierung im System-on-Chip ARTPEC-9 von Axis ist speziell für die Videosicherheit optimiert.

Bei einer bestimmten Menge an Video-Daten führen die mit AV1 erzielbaren niedrigeren Bitraten unmittelbar zu einem geringeren Speicherbedarf, wodurch sich die Lebensdauer der bestehenden Speicher-Infrastruktur potenziell verlängern lässt oder längere Aufbewahrungsfristen ermöglicht werden. Darüber hinaus kann eine geringere genutzte Bandbreite kostspielige Aktualisierungen des Netzwerks hinauszögern oder ganz überflüssig machen. Insgesamt führt dies zu geringeren Gesamtbetriebskosten (TCO) für ein Videosicherheitssystem.

Zudem nimmt die cloudbasierte Videosicherheit rasant zu, was erhebliche Anforderungen an die Komprimierungstechnologie stellt. Die Übertragung von Video-Daten von Hunderten oder Tausenden von Kameras an Cloud-Speicher- und Plattformen mit Analysefunktionen erfordert einen Codec, der über Internetverbindungen hohe Qualität bei niedrigen Bitrates liefern kann. AV1 wurde speziell für die Videoübertragung im Internet entwickelt, und dank seines kostenfreien Modells wird es von allen Browsern, Plattformen und Cloud-Diensten nativ unterstützt. Diese umfassende Unterstützung vereinfacht die Cloud-Integration und beseitigt die Kompatibilitätsprobleme, die bisher den großflächigen Einsatz von H.265 in Cloud-Umgebungen erschwert haben.

5 Implementierung von AV1 durch Axis

Axis ist in der Sicherheitsbranche führend und der erste Hersteller, der AV1-Unterstützung in Kameras integriert hat. Dies spiegelt das Engagement wider, sowohl die Videosicherheitsbranche voranzubringen als auch den Nutzen der Kunden zu steigern.

Die AV1-Implementierung konzentriert sich auf die grundlegenden Stärken des Codecs für Sicherheitsanwendungen und wurde speziell für die besonderen Anforderungen von ununterbrochenen Aufzeichnungen rund um die Uhr, der Integration von KI-Analysefunktionen sowie der Interoperabilität von Systemen für Videosicherheit entwickelt. Funktionen, die sich auf die Übertragung beziehen und für die Videosicherheit nicht relevant sind, wurden bewusst ausgeschlossen. Stattdessen kommen die Kern-Funktionen für die Komprimierung zum Einsatz, die auf der flexiblen Blockaufteilung des Codecs, fortschrittlicher Intra- und Inter-Prädiktion sowie ausgefeilten Filterverfahren basieren.

Die AV1-Unterstützung stellt bei Axis Kameras keinen Kostenfaktor dar, da die in die Kamera integrierte ARTPEC-Architektur eine effiziente Implementierung und Integration neuer Codecs ermöglicht. Die Kunden profitieren ohne zusätzliche Kosten von der vollen Effizienz von AV1. ARTPEC-9 bietet uneingeschränkte AV1-Encoder-Leistung in Echtzeit bei minimalem Overhead, ohne die CPU oder den Stromverbrauch der Kamera zusätzlich zu belasten.

Alle Axis Funktionen, die mit H.264 und H.265 verfügbar sind, werden ab der Markteinführung unterstützt, darunter Zipstream, signierte Videos, Algorithmen zur Steuerung der Bitrate und Zipstream-Profile. Auch AV1 wird in AXIS Camera Station und AXIS Site Designer vollständig unterstützt.

5.1 Zipstream und AV1: gemeinsam besser

AV1, H.264 und H.265 wurden alle für den breiten Einsatz in zahlreichen Branchen entwickelt. Da sich die Standards eher auf den Decoder als auf den Encoder konzentrieren, können schrittweise Verbesserungen am Encoder unabhängig davon entwickelt werden. Dies ermöglichte es Axis, Zipstream zu entwickeln – eine speziell für Anwendungen der Videosicherheit konzipierte Optimierung, die auf die Zusammenarbeit mit dem zugrunde liegenden Codec ausgelegt ist. Somit können Einsparungen von mindestens 50 % bei der Bandbreite und dem Speicherplatz erreicht und gleichzeitig der forensische Wert des Videomaterials gewährleistet werden.

Zipstream analysiert Videoszenen in Echtzeit, identifiziert dynamisch ausgewählte Bereiche wie menschliche Gesichter und Fahrzeugkennzeichen und bewahrt deren Detailgenauigkeit, während weniger wichtige Bereiche stärker komprimiert werden. In Verbindung mit der von Natur aus überlegenen Komprimierung komplexer sich bewogender Objekte durch AV1 bleiben hochwertige forensische Details dort erhalten, wo sie am wichtigsten sind, während die Gesamtbitrate deutlich reduziert wird.

5.2 Neue Funktionen mit AV1

Bereits in seiner ersten ARTPEC-Implementierung zeigt AV1 durchweg eine Effizienz bei der Komprimierung, die mit der Implementierung der dritten Generation von H.265 vergleichbar ist. Zudem bietet AV1 ein fortschrittlicheres Toolset, das völlig neue Möglichkeiten eröffnet. Zu den Funktionen, die in Kürze für Axis Kameras verfügbar sein werden, gehören Toggable Overlays und das AVIF-Format für Standbilder.

5.2.1 Toggable overlays

„Toggable overlays“ ist eine Funktion, mit der Benutzer grafische Elemente im Video sowohl während der Live-Wiedergabe als auch bei der Wiedergabe von Aufzeichnungen ein- oder ausschalten können. Zu diesen Elementen gehören Umgrenzungsfelder, Textanmerkungen und MQTT-Datenvisualisierungen. Die Overlays sind dauerhaft in einer eigenen Ebene innerhalb des Videos integriert, sodass sie stets vorhanden sind, auch wenn sie nicht sichtbar sind. Das bedeutet, dass Betreiber wählen können, das „saubere“ Video anzuzeigen, wenn sie die Overlay-Informationen nicht benötigen, ohne dabei die integrierten Daten zu verlieren. Toggable Overlays veranschaulichen, wie die fortschrittlichere Architektur von AV1 völlig neue Funktionen ermöglicht, die über die Möglichkeiten von H.264 und H.265 hinausgehen.

5.2.2 AVIF (AV1-Bildformat)

AVIF ist ein modernes Bildformat für Standbilder, das auf derselben Komprimierungstechnologie basiert wie das AV1-Videoformat. So wie AV1 im Vergleich zu H.264 und H.265 bei Videos eine Verbesserung darstellt, bietet AVIF eine deutlich bessere Komprimierung als ältere Bildformate wie JPEG, ohne dabei Abstriche bei der Bildqualität zu machen. Für die Videosicherheit bedeutet dies, dass von Kameras aufgenommene Standbilder – wie beispielsweise bei Alarmen oder als Beweismittel verwendete Schnappschüsse – effizienter gespeichert und

übertragen werden können. AVIF unterstützt zudem einen breiten Farbraum und einen hohen Dynamikbereich, wodurch unter den für die Videosicherheit typischen schwierigen Lichtverhältnissen mehr Details erhalten bleiben.

6 Bitrate-Effizienz von AV1, H.264 und H.265

Der im ARTPEC-9 integrierte Video-Encoder kann Videos im MJPEG-, H.264-, H.265- oder AV1-Format komprimieren.

Obwohl MJPEG hinsichtlich der Bitrate äußerst ineffizient ist, handelt es sich um ein benutzerfreundliches Format, das auch nach 30 Jahren noch in einigen Bereichen Anwendung findet. Da der JPEG-Algorithmus sehr hohe Bitraten erzeugt, begrenzt die in die Kamera integrierte Software den gesamten MJPEG-Durchsatz.

H.264, H.265 und AV1 weisen deutlich niedrigere Basisbitraten auf als MJPEG, und ARTPEC-9 kann Streams mit allen drei Encodern gleichzeitig bereitstellen. Sie können die Einstellungen für Auflösung, Bildrate und Codierung je nach den Anforderungen Ihrer Anwendung beliebig kombinieren, bis an die Leistungsgrenze des Geräts. In ihrer leistungsstärksten Speicherkonfiguration liefert die ARTPEC-9 einen 4K-Stream mit 60 Bildern pro Sekunde und erreicht dabei einen Gesamtdurchsatz von 540 MP/s. Weitere Informationen finden Sie im Whitepaper *-Streaming-Leistung für ARTPEC-9-Produkte*.

Die Bitrate einer neuen Szene lässt sich nur schwer vorhersagen, da Codecs komplex sind und die Bitrate-Effizienz von Szene zu Szene erheblich variiert. Fortgeschrittene Codecs weisen in der Regel größere Schwankungen auf. Wenn Sie Hilfe bei der Abschätzung der Bitrate und des Speichers für komplette Installationen mit H.264, H.265 und AV1 benötigen, können Sie das Planungstool AXIS Site Designer nutzen: axis.com/support/tools/axis-site-designer

6.1 Beispiele für Szenen

Tests von Axis mit gleichzeitigen Streams derselben Kamera, bei denen Szenen der Videosicherheit ausgewählt wurden, zeigen, dass die Bitrate bei AV1 in der Regel der von H.265 entspricht, während die Bitrate bei H.264 deutlich höher ist.

Tabelle 6.1 *Bitraten und Bitratenvergleich zwischen den Codecs.*

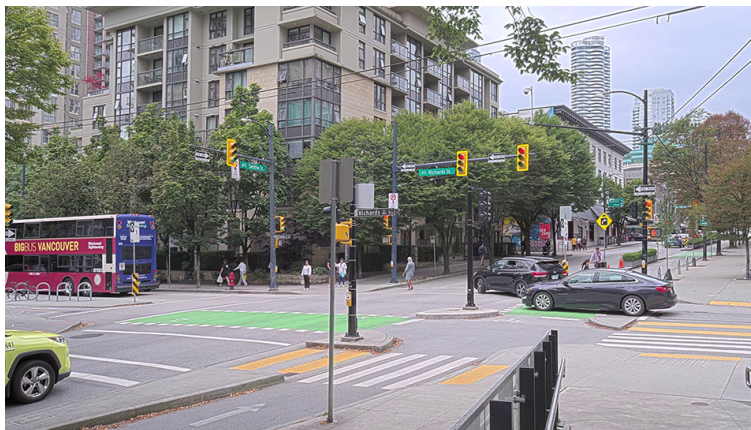
Szene	H.264 (Mbit/s)	H.265 (Mbit/s)	AV1 (Mbit/s)	AV1 im Vergleich zu H.264	AV1 im Vergleich zu H.265
Videosicherheit in einer belebten Stadt	23.558	16.842	15.862	-33%	-5.8%
Verkehrsüberwachung	20.525	15.773	15.660	-24%	-0.72%
Videosicherheit bei Tageslicht	16.211	13.249	13.244	-18%	-0.04%
Videosicherheit bei Nacht	4.7725	3.5333	3.3637	-30%	-4.8%



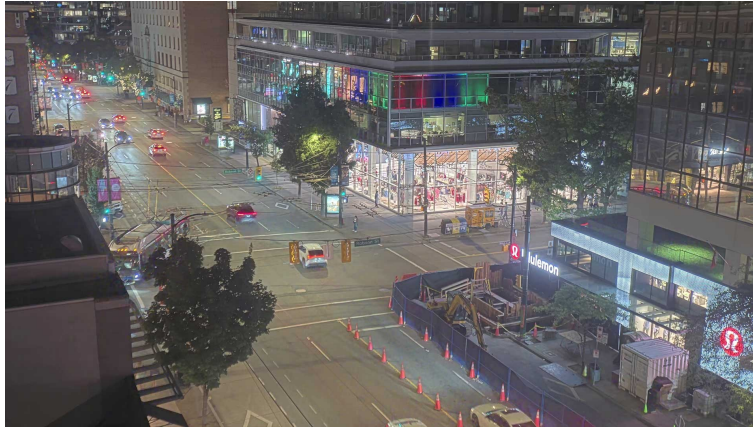
*Eine Videosicherheitsszene in einer belebten Stadt, aus einem Standard-Testsequenz-Video.
Bitrate bei AV1: -33 % im Vergleich zu H.264, -5,8 % im Vergleich zu H.265.*



*Verkehrsüberwachungsszene, aufgenommen mit einer AXIS Q1728 Block Camera.
Bitrate bei AV1: -24 % im Vergleich zu H.264, -0,72 % im Vergleich zu H.265.*



*Aufnahme einer Videosicherheitsszene bei Tageslicht, aufgenommen mit einer AXIS Q1728 Block Camera.
Bitrate bei AV1: -18 % im Vergleich zu H.264, -0,04 % im Vergleich zu H.265.*



*Aufnahme einer Videosicherheitsszene bei Nacht, aufgenommen mit einer AXIS Q1728 Block Camera.
Bitrate bei AV1: -30 % im Vergleich zu H.264, -4,8 % im Vergleich zu H.265.*

6.2 Vergleich von Codecs: Qualität forensischer Videoaufnahmen im Vergleich zur Bitrate

Ein Vergleich der Bitraten ist sinnlos, wenn die Qualität des Videos unterschiedlich ist. Leider gibt es keine zuverlässige Methode, die Bildqualität automatisch zu messen, und die manuelle Bewertung ist sehr zeitaufwendig.

Wenn Sie zwei Kameras verwenden, müssten Sie entweder:

- beide Kameras so einstellen, dass sie dieselbe Bitrate liefern, und anschließend die Videoqualität vergleichen, indem Sie die Bilder nacheinander durchgehen und nach Artefakten suchen.
- oder beide Kameras so einstellen, dass sie die gleiche Bildqualität liefern (was zeitaufwendig und schwer zu überprüfen ist), und anschließend die Bitrate vergleichen.

Zwei nebeneinander angeordnete Kameras haben jedoch lediglich annähernd denselben Blickwinkel. Die Unsicherheit bei der Bitrate kann in solchen Setups bis zu 20 % betragen, was für einen aussagekräftigen Vergleich viel zu hoch ist. Sie müssten eine Vielzahl unterschiedlicher Szenen drehen, um die Tatsache auszugleichen, dass Sie fast identische Inhalte filmen.

Um zwei Codecs objektiv miteinander zu vergleichen, müssen Sie mit beiden genau dasselbe Video kodieren. Das Video muss Bild für Bild identisch sein, was bedeutet, dass alle Kameraeinstellungen, das Sichtfeld, die Schärfe und der Bildinhalt übereinstimmen müssen. Die einzige Möglichkeit, dies über die Live-Ansicht zu erreichen, besteht darin, beide Streams gleichzeitig in derselben Kamera zu kodieren. Die neuesten ARTPEC-Chips verfügen über ausreichend Rechenleistung, um dies zu bewältigen. Sie können zwei Streams parallel kodieren und beide auf einer SD-Karte speichern oder an ein VMS übertragen. Die empfohlene Vorgehensweise besteht darin, eine Kamera mit vorkonfigurierten Videostreamprofilen und Auslösern zu verwenden; auf diese Weise wurde auch der hier vorgestellte Vergleich der Bitrate-Effizienz durchgeführt.

7 Technische Grundlagen von AV1

Zwar bringt die Umstellung auf AV1 neue Effizienzgewinne mit sich, doch lässt sie sich am besten als Weiterentwicklung der bestehenden Standards verstehen. AV1 baut auf denselben Kernprinzipien der blockbasierten Komprimierung, der Schätzung der Bewegung und der Transformationskodierung auf, die bereits in H.264 und H.265 zum Einsatz kommen. Darüber hinaus führt AV1 eine Reihe fortschrittlicher Werkzeuge und Vorhersagemechanismen ein.

7.1 Verfeinerte Frame-Typen und Vorhersage

Die Hauptunterschiede zwischen den Codecs liegen in der Flexibilität, über die der Encoder bei der Vorhersage von Pixelbewegungen verfügt.

7.1.1 Das in H.264 und H.265 etablierte I-P-B-Framework

H.264 und H.265 stützen sich auf eine standardmäßige Hierarchie aus drei Haupttypen komprimierter Bilder, um eine Inter-Frame-Komprimierung zu erreichen. Eine Abfolge dieser Bilder bildet eine Group of Pictures (GOP), die in der Regel mit einem I-Frame beginnt, auf den eine Mischung aus P-Frames und B-Frames folgt. Der Encoder kann den Bildtyp nach dem I-Frame frei auswählen.

- **I-Frames**, auch als intra-codierte Frames bezeichnet, sind unabhängige Anker-Frames, die ein vollständiges Bild speichern, ohne auf andere Frames zu verweisen. Sie bieten in der Regel beliebige Access Points für die Dekodierung, die Positionssuche und die Fehlerbehebung. Da ausschließlich räumliche Vorhersagen aus benachbarten Pixeln desselben Bildes verwendet werden, stellen I-Frames den größten Typ des Bildes dar. H.265 hat die Intra-Vorhersage verbessert, indem es mehr Richtungsmodi und größere Vorhersageblockgrößen als der H.264-Standard eingeführt hat.
- **P-Frames** sind prädiktive Frames, die durch die Vorhersage der Unterschiede zu einem oder zwei vorhergehenden I- oder P-Frames kodiert werden. Sie sind deutlich kleiner als I-Frames, da sie lediglich Bewegungsvektoren (die angeben, wie sich Pixelblöcke bewegt haben) und Residualdaten (die Unterschiede zwischen der Vorhersage und dem tatsächlichen Bild) speichern. Zwar stellen P-Frames Bewegungen zwischen den Bildern effizient dar, doch kann ihre Abhängigkeit von einer Referenz aus der Vergangenheit die Vorhersagegenauigkeit bei komplexen Bewegungen oder erheblichen Änderungen der Szene einschränken.
- **B-Frames** sind bi-prädiktive Frames, die sowohl auf vergangene als auch auf zukünftige Daten zurückgreifen, um die Codierungseffizienz zu maximieren. Sie erzielen die höchsten Komprimierungsraten, indem sie Informationen aus zwei Richtungen nutzen und eine Hierarchie anwenden, die verhindert, dass sich Artefakte auf andere Bilder ausbreiten. B-Frames eignen sich zwar ideal für flüssige Bewegungen, verursachen jedoch aufgrund ihrer Abhängigkeit von zukünftigen Bildern eine Verzögerung bei der Dekodierung. H.265 hat die Leistung von B-Frames durch flexible Referenzlisten und adaptive Bewegungsvektorvorhersage verbessert.

7.1.2 Der flexible Ansatz von AV1 bei der Inter-Prädiktion

AV1 behält das Konzept bei, auf andere Bilder zu verweisen, um die Datenmenge zu reduzieren, ersetzt dabei jedoch die starren P- oder B-Frame-Kennzeichnungen durch eine vielseitige Struktur zwischen den Bildern.

- **Key-Frames** erfüllen im Grunde dieselbe Funktion wie I-Frames, indem sie in sich geschlossene Bilder bereitstellen, die unabhängig voneinander decodiert werden können. Sie sind nach wie vor unverzichtbar für den Start der Wiedergabe, die Positionssuche und die Fehlerresilienz. Die verbesserte Intra-Prädiktion sorgt dafür, dass selbst die „vollständigen“ Key-Frames in AV1 effizienter codiert werden als I-Frames in älteren Codecs, wodurch ihre Größe reduziert wird, ohne dass die Qualität darunter leidet. Zu den spezifischen Intra-Prädiktionswerkzeugen zählen weitere Richtungsmodi, Paeth- und Paletten-Prädiktoren sowie „Chroma from Luma“.
 - Mehr Modus-Varianten bedeuten einen größeren Bereich von 56 Winkeln für die Vorhersage von Pixel-Werten anhand benachbarter Pixel, verglichen mit 35 bei H.265 und neun bei H.264.
 - Der Paeth-Prädiktor wählt Richtungen auf der Grundlage von Farbverläufen aus, während der Paletten-Prädiktor Inhalte mit begrenzten Farbsätzen, wie beispielsweise Computergrafiken, effizient verarbeitet.
 - „Chroma from Luma“ (CfL) ist ein Intra-Prädiktionsverfahren, bei dem Farbinformationen (Chroma) aus Helligkeitsdaten (Luma) vorhergesagt werden.
- **Inter-Frames** stellen Bewegungen und Veränderungen zwischen den Key-Frames dar. Sie ähneln im Wesentlichen den P-Frames, übertreffen jedoch die Leistungsfähigkeit sowohl der P-Frames als auch der B-Frames, indem sie eine multidirektionale Referenzstruktur nutzen. Im Gegensatz zu P-Frames mit einer Referenz und B-Frames mit bis zu zwei Referenzen können AV1-I-Frames für jeden beliebigen Block auf bis zu sechs zuvor decodierte Frames verweisen. Dadurch kann der Encoder über mehrere zeitliche Abstände hinweg die beste Übereinstimmung ermitteln, was zu einer genaueren Vorhersage und geringeren Residuen führt.

7.2 Erweiterte Programmierwerkzeuge

AV1 bietet mehrere ausgefeilte Werkzeuge, mit denen sich die Verarbeitung der Blöcke verfeinern lässt.

Erweiterte Blockpartitionierung. Zwar unterstützt AV1 Superblöcke der Größe 128x128, doch liegt die Hauptstärke des Codecs in der Flexibilität seiner Blockaufteilung. Superblöcke mit einer Größe von 128x128 oder 64x64 Pixeln lassen sich in äußerst flexible Muster unterteilen, darunter T-förmige Aufteilungen und Seitenverhältnisse von 4:1 oder 1:4, bis hinunter zu 4x4 Pixeln. Dadurch kann der Encoder Bilder im Bereich feiner Details präziser unterteilen als dies mit den starren Strukturen von H.264 oder H.265 möglich ist.

Vorhersage von Verbindungen. Diese Funktion ermöglicht die Vermischung zweier unterschiedlicher Vorhersagen für einen einzelnen Block. Bei der Inter-Inter-Kombination werden verschiedene Referenzrahmen oder Bewegungsvektoren kombiniert, während bei der Inter-Intra-Kombination Inter- und Intra-Vorhersagen miteinander vermischt werden, um die Grenzen der Objekte zu verbessern. Verfahren wie die „Wedge Partitioned Prediction“ erstellen sanfte, schräge Übergangslinien zwischen den vermischten Vorhersagen, um blockartige Artefakte zu vermeiden und sich bewegende Objekte präzise voneinander zu trennen.

7.3 Funktionen zur Steigerung der betrieblichen Effizienz

Einige AV1-Tools wurden speziell für Kamerabewegungen und die Leistung beim Streamen entwickelt.

Globale Bewegung und verzerrte Bewegung. AV1 berücksichtigt Kamerabewegungen wie Schwenken, Neigen oder Zoomen, indem ein einziger Satz von Verzerrungsparametern auf große Bereiche oder ganze Bilder angewendet wird. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, bei Kamerabewegungen für jeden Block einzelne Bewegungsvektoren zu kodieren, was bei Überwachungsaufnahmen äußerst effizient ist.

Switch-Frames (S-Frames). Hierbei handelt es sich um spezielle Inter-Frames, die für das Streamen mit adaptiver Bitrate entwickelt wurden. Sie lassen sich anhand eines Referenzrahmens mit höherer Auflösung vorhersagen. Dadurch kann ein Decoder auf einen Stream mit niedrigerer Auflösung umschalten, ohne dass ein vollständiger Key-Frame erforderlich ist, wodurch sich der Decoder an wechselnde Bedingungen im Netzwerk anpassen kann.

7.4 Verarbeitung und Filterung

AV1 führt mehrere mathematische und nachbearbeitungsbezogene Verbesserungen ein, die die endgültige Bildqualität und die Kodierungseffizienz steigern.

Höhere interne Genauigkeit. AV1 führt die interne Verarbeitung mit 10 oder 12 Bit pro Abtastwert durch, um Rundungsfehler zu reduzieren und Details zu bewahren. Dies ist insbesondere in Situationen mit hohem Dynamikbereich von Vorteil.

Transformationen. AV1 unterstützt ein deutlich breiteres Spektrum an Transformationen als H.265. Es nutzt verschiedene Typen, um Restmuster in die Frequenzdomain abzubilden, darunter die rechteckige DCT (diskrete Kosinustransformation) und die asymmetrische DST (diskrete Sinustransformation). Der Codec kann verschiedene 1D-Transformationen horizontal und vertikal kombinieren, um sich besser an die Eigenschaften der Restdaten anzupassen.

In-Loop-Filterung. AV1 nutzt den „Constrained Directional Enhancement Filter“ (CDEF), um Klingelartefakte entlang dominanter Kanten zu glätten. Zudem kommt ein auf dem Wiener-Verfahren basierender Filter zur Wiederherstellung von Bildschleifen zum Einsatz, um Unschärfeartefakte im gesamten Bild zu reduzieren.

Synthese von Filmkorn. Anstatt zufälliges Rauschen ineffizient zu kodieren, überträgt AV1 Parameter, mit denen im Decoder Rauschen synthetisiert wird. Dadurch bleibt die wahrgenommene Textur erhalten, während gleichzeitig eine erhebliche Bitrate eingespart wird. Das Design dieser Funktion ist eher für den Einsatz in Film und Fernsehen als für Überwachungszwecke konzipiert.

Nicht-binäre arithmetische Codierung. AV1 nutzt einen nicht-binären arithmetischen Codierer, der effizienter und in der Hardware schneller zu implementieren ist als die binären CABAC-Systeme, die in H.264 oder H.265 verwendet werden.

8 Leitfaden zur technischen Integration

8.1 Streaming und Dekodierung von AV1-Videos in Axis Geräten

Axis unterstützt den AV1-Videokodierungsstandard auf Geräten, die mit dem System-on-Chip (SoC) ARTPEC-9 oder einer neueren Version ausgestattet sind. Die Implementierung entspricht vollständig den AV1-Spezifikationen und unterstützt das Main Profile mit einer Farbtiefe von 8 Bit, um die Kompatibilität mit einer Vielzahl von Plattformen zu gewährleisten.

Die Axis Streaming-Bibliothek unterstützt das Streamen von AV1-Videos über RTSP/RTP. Diese Implementierung wurde in C# geschrieben und nutzt VAPIX für die Kommunikation mit Axis Geräten.

Um eine Wiedergabe mit hoher Leistung zu gewährleisten, kommen je nach Wiedergabeplattform spezifische Dekodierungsstrategien zum Einsatz. Bei Desktop-Anwendungen wird FFmpeg verwendet, wobei der dav1d-Decoder aktiviert ist. Web-Clients nutzen die in modernen Browsern integrierte AV1-Video-Unterstützung.

Bei mobilen Anwendungen für iOS und Android sorgt die AV1-Implementierung von Axis für ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Flexibilität und Leistung. Zum Abrufen der Videobilder aus dem Stream wird FFmpeg verwendet. Die mobile Plattform selbst führt die eigentliche Dekodierung durch. Native Video-Player übernehmen die Darstellung der Bilder, um eine flüssige Wiedergabe und einen effizienten Energieverbrauch zu gewährleisten.

8.2 Wichtige Überlegungen für Entwickler

Die VAPIX®-APIs stellen die erforderlichen Tools und Dokumentationen für eine maßgeschneiderte Integration in AXIS OS bereit. Anleitungen zur Integration von AV1-codierten Videodaten unserer Geräte in Ihre Integrationen und Lösungen finden Sie in der Axis-Entwicklerdokumentation, insbesondere unter: <https://developer.axis.com/video-streaming-and-recording/av1/how-to-guides/integration-guide-av1/>

Bevor Sie eine Integration mit AV1-fähigen Axis Geräten aktivieren, stellen Sie sicher, dass die Hardware und Software Ihres Systems die AV1-Videodekodierung unterstützen. AV1-Videos können mehr CPU-Ressourcen beanspruchen als H.265, wenn keine Hardwareunterstützung vorhanden ist oder der Decoder nicht optimiert ist. Erwägen Sie, die Leistung Ihrer Anwendung durch den Einsatz von Multithreading, GPU-Beschleunigung oder anderen Techniken zu verbessern.

Die Nutzung der AV1-Videotechnologie unterliegt bestimmten Lizenzen. Es liegt in Ihrer Verantwortung, alle erforderlichen Lizenzen von Dritten für Patente oder sonstige Rechte an geistigem Eigentum einzuholen, die für die Nutzung der AV1-Videotechnologie erforderlich sein könnten.

8.2.1 Abrufen von AV1-Streams

8.2.1.1 Standardprotokolle

Entwickler können AV1-Streams über Standardprotokolle wie RTSP/RTP oder HTTP anfordern, indem sie eine bestimmte URL aufrufen, die Streaming-Parameter wie Codec, Auflösung, Bildrate und Bitrate akzeptiert.

8.2.1.2 WebRTC

Sie können WebRTC auch zum Abrufen von AV1-Streams verwenden. Dazu benötigen Sie eine WebRTC-Client-Anwendung zur Anzeige des Videostreams, mindestens einen Signalisierungsserver zum Einrichten der ersten Verbindung sowie einen STUN- oder TURN-Server für die NAT-Durchquerung.

Für die WebRTC-Client-Anwendung ist die gängigste und flexibelste Option die Verwendung eines modernen Webbrowsers und die Entwicklung einer Webseite mit JavaScript, um mit den WebRTC-APIs (wie `RTCPeerConnection` und `getUserMedia`) zu interagieren. Für Desktop- oder Mobilgeräte könnten Sie stattdessen eine eigene Anwendung unter Verwendung von WebRTC-Bibliotheken (wie beispielsweise `LibWebRTC`) entwickeln, um den Videostream zu integrieren.

Falls Sie keine Axis Cloud Connect-Lösung verwenden, müssen Sie Ihren eigenen Signalisierungsserver betreiben. Er fungiert als Koordinator und ermöglicht es der Axis Kamera (als einem WebRTC-Endpunkt) und Ihrem Client (dem anderen Endpunkt), die erforderlichen Informationen auszutauschen, um eine direkte Verbindung herzustellen. Dazu zählen:

- SDP-Angebote/-Antworten (Session Description Protocol). Diese beschreiben die Medienfunktionen und Konfigurationen der einzelnen Teilnehmer.
- ICE-Kandidaten (Interactive Connectivity Establishment). Dies sind mögliche Netzwerkadressen (Kombinationen aus IP-Adressen und Ports), über die jeder Peer erreichbar sein könnte.

Sie können einen Signalisierungsserver unter Verwendung verschiedener Backend-Technologien (wie beispielsweise Node.js mit WebSockets, Python, Java oder Go) erstellen, um diesen Datenaustausch abzuwickeln.

Die meisten Geräte, darunter Kameras und Client-Computer, befinden sich hinter NAT-Routern (Network Address Translator) und Firewalls. Dies erschwert direkte Peer-to-Peer-Verbindungen, da deren interne IP-Adressen nicht öffentlich routbar sind. Ein STUN-Server (Session Traversal Utilities for NAT) unterstützt Peers dabei, ihre öffentlichen IP-Adressen und Portzuordnungen zu ermitteln. Das ist relativ leicht. Sie können öffentliche STUN-Server nutzen oder einen eigenen Server betreiben.

Falls STUN nicht ausreicht, um eine direkte Verbindung herzustellen (beispielsweise aufgrund restriktiver symmetrischer NATs oder Unternehmens-Firewalls), wird ein TURN-Server (Traversal Using Relays around NAT) benötigt. TURN fungiert als Relais und leitet den Medienverkehr zwischen den Peers weiter. Dies beansprucht zwar mehr Bandbreite und führt zu einer leichten Verzögerung, garantiert jedoch die Verbindung. Sie müssten Ihren eigenen TURN-Server betreiben.

8.2.2 Dekodierung und Wiedergabe von AV1-Streams

Um AV1-Videostreams in Ihrer Anwendung zu dekodieren, können Sie FFmpeg verwenden, ein beliebtes Open-Source-Multimedia-Framework. Zur Wiedergabe von AV1-Videostreams können Sie die meisten modernen Browser, Mediaplayer, Videohardware oder öffentliche Frameworks verwenden.

9 Markenzuordnungen

© 2026 Axis Communications AB. AXIS COMMUNICATIONS, AXIS, ARTPEC und VAPIX sind in verschiedenen Jurisdiktionen eingetragene Marken von Axis AB. Microsoft und Windows sind eingetragene Marken der Microsoft-Unternehmensgruppe. MacOS und Apple sind Marken von Apple Inc., die in den USA und anderen Ländern eingetragen sind. iOS ist eine Marke oder eingetragene Marke von Cisco in den USA und anderen Ländern und wird unter Lizenz verwendet. Android und Google sind Marken von Google LLC. Linux ist eine eingetragene Marke von Linus Torvalds in den USA und anderen Ländern. ONVIF ist eine Marke von ONVIF, Inc. Alle anderen Marken sind Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.

Über Axis Communications

Axis ermöglicht eine smartere und sichere Welt durch die Verbesserung von Sicherheit, Schutz, betrieblicher Effizienz und Geschäftsanalytik. Als Technologieführer im Bereich Netzwerk-Video bietet Axis Videosicherheits-, Zutrittskontroll-, Intercom- und Audiolösungen. Die branchenweit anerkannten Schulungen der Axis Communications Academy vermitteln fundiertes Expertenwissen zu den neuesten Technologien.

Das 1984 gegründete schwedische Unternehmen beschäftigt etwa 5.000 engagierte Mitarbeiter in über 50 Ländern und bietet mit Technologie- und Systemintegrationspartnern auf der ganzen Welt kundenspezifische Lösungen an. Der Hauptsitz ist in Lund, Schweden.