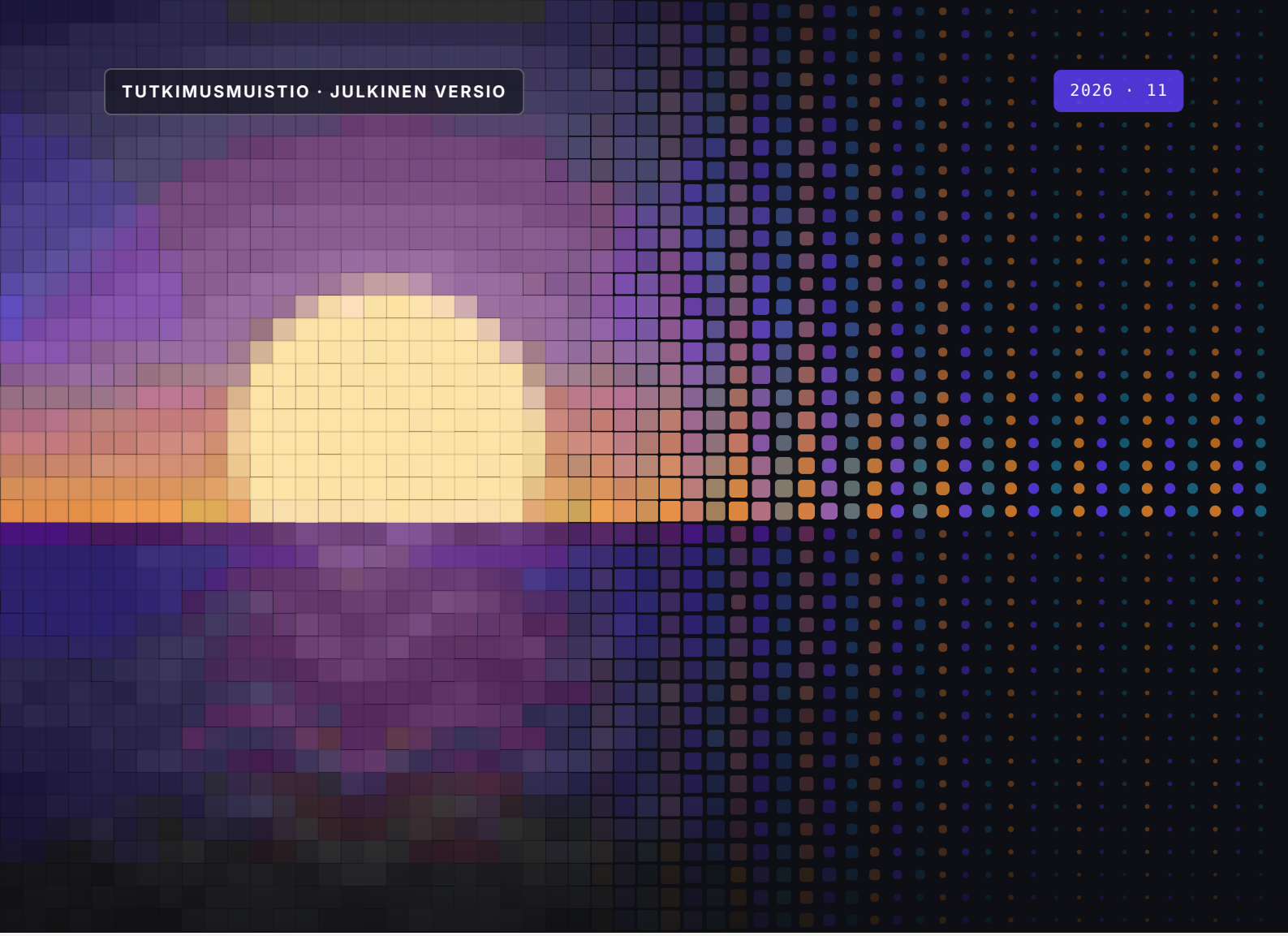


TUTKIMUSMUISTIO · JULKINEN VERSIO

2026 · 11

OPITTU PAKKAUS · TOISTO × PIIRIT

Neuraalinen koodaus vuonna 2026

Tuotteissa koodekin ympärillä, ei sen tilalla

Toisto · Valokuvaus · Puhelut · Generatiivinen tekoäly · Pelit · Piirit

JOHTOPÄÄTÖS

Neuroverkot toimivat jo maailman videokoodekkien molemmissa päissä. Päästä päähän -neuraalikoodekit ovat vain suljetuissa järjestelmissä; valtavirran näytöt odottavat H.267:ää.

Tan Shuai

Teknologi ja perustaja · Tekoälytutkija ja -kehittäjä

tanshuai.com · i@tanshuai.com

Tilanne 12. marraskuuta 2026

Rahamäärät Yhdysvaltain dollareina

SISÄLLYS

Sisällys

◆ **Johdon tiivistelmä** 04
Jo valtavirtaa, mutta koodekin ympärillä

01 **Rajaus ja menetelmä** 07
Mitä ”neuraalinen koodaus” tässä tarkoittaa ja miten tutkin sitä

02 **Toisto ja suoratoisto** 09
Toisto ja suoratoisto: neuraalinen molemmissa päissä, standardi keskellä

03 **Valokuvaus ja kuvat** 12
Valokuvaus ja kuvat: neuraalinen kamerassa, klassinen verkossa

04 **Puhelut ja kokoukset** 13
Puhelut ja kokoukset: missä päästä päähän -neuraalikoodekit todella ovat käytössä

05 **Generatiivinen tekoäly** 15
Generatiivinen tekoäly: suurin käyttöönotto, jota kukaan ei kutsu koodekiksi

06 **Pelit ja grafiikka** 16
Pelit ja grafiikka: neuraalinen rekonstruktio on valtavirtaa, neuraaliset resurssit vasta alussa

07 **Erikoisyhteydet** 18
Erikoisyhteydet: satelliitit, droonit ja robotit

08 **Piirit** 18
Piirien näkökulma: energia, laskenta, muisti ja täsmällisyys

09 **Standardit ja patentit** 23
Standardit ja patentit: missä neuraalisista työkaluista tulee lisensoitavia

10 **Kuka ansaitsee** 24
Kuka ansaitsee ja missä yritys voi toimia

11 **Väitteet ja näyttö** 26
Väitteet, joita kuulet, ja mitä näyttö sanoo

12 **Tienviitat** 27
Mitä seurata vuosina 2027–2030

13 **Avoimet kysymykset** 28

◆ **Kirjoittajasta** 29
Tan Shuai

◆ **Lähteet** 30

KUVIOT

Kuviot

KUVIO 01	Missä neuraalinen koodaus on käytössä vuonna 2026	06
KUVIO 02	Kolme tapaa, joilla neuroverkko tulee koodekkiin	08
KUVIO 03	Valmiista standardista valtavirran näyttöihin kuluu suurin osa vuosikymmenestä	10
KUVIO 04	Puheluissa neuraalikoodekki pärjää 65–76 % pienemmällä bittinopeudella kuin laitteisto-HEVC	14
KUVIO 05	Kun yksi yritys hallitsee koko pinoa, neuraalinen rekonstruktio leviää nopeasti	16
KUVIO 06	Energia dekoodattua pikseliä kohden: kiinteätoimiset dekooderit ovat kertaluokan edellä	19
KUVIO 07	Neuraalinen työkalu vie pikseliä kohden kymmeniätuhansia MAC-operaatioita, kokonainen neuraalinen dekooderi satojatuhansia	20
KUVIO 08	Tuotteissa käytetty työnjako: kiinteätoiminen laitteisto bittivirralle, neuroprosessori pikseleille	21
KUVIO 09	Kuka ansaitsee neuraalisella koodauksella vuonna 2026	24

Tekstin merkinnät

- **arvio** kirjoittajan oma laskelma tai päätelmä lähteiden tiedoista
- **valmistajan väite** tuotetta myyvän yrityksen julkaisema, ei riippumattomasti varmennettu
- **analyysi** kirjoittajan tulkinta aineistosta

Tämä on käännös englanninkielisestä versiosta; jos versiot eroavat, englanninkielinen versio on ratkaiseva.

Tilanne 12. marraskuuta 2026 · Rahamäärät Yhdysvaltain dollareina

JOHDON TIIVISTELMÄ

Jo valtavirtaa, mutta koodekin ympärillä

JOHTOPÄÄTÖS

Neuraalinen koodaus on vuonna 2026 jo valtavirtaa, mutta se toimii standardikoodekkien ympärillä eikä niiden tilalla.

≈75 %
mobiilidataliikenteestä on videota, vuoden 2025 lopussa (Ericsson)

1,26 miljardia
älypuhelinta toimitettiin vuonna 2025, ja jokainen dekoodaa videon kiinteätoimisella laitteistolla

≈12×
energiaa pikseliä kohden ainoassa julkaistussa neuraalisen dekooderin piirisuunnitelmassa verrattuna mitattuun HEVC-dekooderipiiriin DRAM-muisteineen

≈22 TOPS
jatkuvaa laskentatehoa DCVC-RT-luokan neuraaliselle dekooderille 1080p30-videolla arvio

75,5 %
pienempi bittinopeus MLVC:llä kuin laitteisto-HEVC:llä 360p-puheluissa Microsoftin omalla testiaineistolla
valmistajan väite

Vuoden 2029 loppu
H.267:n versio 1, ensimmäinen standardi, joka todennäköisesti vie neuraaliset työkalut jokaiseen näyttöön

Missä käytössä

Neuroverkot toimivat nyt niiden koodekkien kummassakin päässä, jotka kuljettavat lähes kaiken maailman videon. Ennen koodausta ne muokkaavat kuvaa: puhelinten kameroiden tekoälyä hyödyntävät kuvasignaaliprosessorit ja neuraalinen alasskaalain Netflixin koodausketjussa. Dekoodauksen jälkeen ne korjaavat sitä: YouTuben Super Resolution televisioissa, Metan superresoluutio ja televisioiden prosessorit, joiden mainoksissa luvataan satoja neuroverkkoja. Välissä bittivirta on yhä AV1, HEVC, AVC tai VVC, ja sen dekoodaa kiinteätoiminen laitteisto. Mikään suoratoistopalvelu ei lähetä televisioihin tai puhelimiin neuraalista videoformaattia; jos laitteessa tänään toimii neuraalinen videodekooderi, se toimii yhden yrityksen omassa sovelluksessa.

Suljetut järjestelmät

Päästä päähän -neuraalikoodekit, joissa sekä kooderi että dekooderi ovat opittuja, ovat käytössä vain suljetuissa järjestelmissä, joissa sama yritys hallitsee molempia päitä ja voi turvautua standardikoodekkiin. Microsoft on käyttänyt tekoälypohjaista äänikoodekkia kaikissa Teamsin ja Skypen kahdenkeskisissä puheluissa vuodesta 2021, ja heinäkuussa 2026 se julkaisi avoimena lähdekoodina MLVC:n, neuraalisen videokoodekin, jota otetaan nyt käyttöön Teamsin vertaisyhteyspuheluissa: 360p-resoluutiolla se tarvitsee samaan arvioituun laatuun noin 75 % pienemmän bittinopeuden kuin laitteisto-HEVC. Jokainen puhetta ja videota generoiva malli toimii opitun koodekin varassa 12,5 Hz:n puhetokenisoijista video-VAE:ihin, joiden pakkaussuhde on 1:192. Neuraalinen tekstuuripakkaus on päätynyt yhteen julkaistuun AAA-peliin. Nämä ovat todellisia käyttöönottoja, ja niitä yhdistää yksi ehto: kenenkään muun ei tarvitse dekoodata virtaa.

Aikataulu

Neuraalisten bittivirtojen laajamittainen toisto odottaa standardia ja piirisykliä. Ensimmäinen standardi, joka todennäköisesti tuo neuraalisia työkaluja, on VVC:n seuraaja, jota kutsun nimellä H.267. Sen ehdotuspyyntö julkaistiin heinäkuussa 2026, vastaukset arvioidaan tammikuussa 2027, ja ensimmäinen versio on tavoitteena vuoden 2029 lopussa. AV1:ltä kului valmiista määrittelystä lähes kahdeksan vuotta 30 %:n osuuteen Netflixin katselusta. Saman kaavan mukaan ensimmäiset H.267-piirit tulevat noin vuonna 2031 ja valtavirtakäyttö 2030-luvun puolivälissä arvio. Sillä välin seuraavaksi näytöille tuleva koodekki on AV2, joka valmistui toukokuussa 2026 ilman neuraalista dekooderia, ja kolme IP-toimittajaa ilmoitti AV2-dekooderiasiakkaista kolmen viikon kuluessa.

Piirit

Syy on piireissä. Ainoa julkaistu neuraalisen videodekooderin piirisuunnitelma tarvitsee 14,6 nJ pikseliä kohden, noin 12 kertaa niin paljon kuin mitattu HEVC-dekooderipiiri DRAM-muisteineen ja noin 47 kertaa niin paljon kuin pelkkä sen ydin. Microsoftin reaaliaikainen tutkimuskoodekki DCVC-RT tarvitsee laskemani mukaan, sen omasta moduulikohtaisesta taulukosta summattuna, noin 175 tuhatta MAC-operaatiota (kertolasku ja yhteenlasku) dekoodattua pikseliä kohden eli noin 22 TOPS jatkuvaa laskentatehoa 1080p30-videolle arvio: noin puolet niistä 40 TOPSista, joilla tekoäly-PC määritellään, yhteen videovirtaan käytettynä. Neuraalisen dekooderin on myös tuotettava bitilleen samat tulokset jokaisella laitteella, tai sen entropiadekoodaus hajoaa. Siksi MLVC luopuu pakkaustehosta dekoodautuakseen identtisesti eri NPU:illa ja toimii 540p-resoluutiolla eikä 4K:lla.

Liiketoiminta

Liiketoiminnassa raha seuraa standardeja ja alustoja, ei erillisiä neuraalikoodekkeja. Alustat pitävät neuraalisen esi- ja jälkikäsittelyn säästöt itsellään. IP-toimittajat lisensoivat kiinteätoimisia dekoodereita jokaiseen uuteen standardiin sekä NPU:ita kuvankäsittelyyn. Patenttipoolit laskuttavat laitekohtaisesti: VVC:stä 0,50 dollaria puhelimelta ja 1,00–1,50 dollaria 4K-televisiolta Yhdysvalloissa ja muilla Region 1 -markkinoilla. Kolme tunnetuinta neuraalikoodekkien startup-yritystä, WaveOnen, iSIZEn ja Deep Renderin, ostivat Apple, Sony ja InterDigital. Avoimet mahdollisuudet ovat neuraalisessa esi- ja jälkikäsittelyssä, suljettujen järjestelmien tuotteissa, piireissä, jotka yhdistävät kiinteätoimisen koodekin ja NPU:n, sekä näiden väliin jäävässä arviointi- ja standardointityössä.

Kysymys	Johtopäätös	Avainluvut (lähteet raportin luvuissa)
① **Missä neuraalinen koodaus on laajassa käytössä tänään?**	Koodekin ympärillä: kameroiden ISP:t, koodauspään alasskaalaus, toiston superresoluutio. Päästä päähän vain suljetuissa järjestelmissä: puhelut, pelien resurssit, generatiivisen tekoälyn tokenisoijat	Video ≈75 % mobiilidatasta; vuonna 2025 toimitettiin 1,26 miljardia puhelinta ja ≈200 miljoonaa televisiota, ja kaikki dekoodaavat kiinteätoimisella laitteistolla; DLSS 4 yli 250 pelissä ja sovelluksessa
② **Korvaavatko neuraalikoodekit AV1:n, HEVC:n ja VVC:n toistossa? Milloin?**	Eivät ennen standardia ja laitesykliä. H.267 on ensimmäinen realistinen kantaja, ja se todennäköisesti yhdistää klassisia ja neuraalisia työkaluja	H.267:n ehdotuspyyntö heinäkuussa 2026, arviointi tammikuussa 2027, versio 1 vuoden 2029 lopussa; valtavirtaan 2030-luvun puolivälissä arvio
③ **Mitä se maksaa piirillä?**	Kertaluokkaa enemmän energiaa pikseliä kohden kuin nykyinen kiinteätoiminen dekoodaus, lisäksi muistiliikenne ja bittitarkkuuden vaatimus	14,6 nJ/pikseli (neuraalinen) vs. 1,19 (HEVC, DRAM mukaan lukien); ≈175 kMAC dekoodattua pikseliä kohden ≈ 22 TOPS 1080p30-videolla arvio

Kysymys	Johtopäätös	Avainluvut (lähteet raportin luvuissa)
4 Mitä standardit ja patentit sallivat?	Neuraaliset jälkisuodattimet voidaan jo ilmoittaa VVC-virroissa; JPEG AI on ISO-standardi; H.267 ratkaisee, mistä neuraalisista työkaluista tulee lisensoitavia	ECM (klassinen) ≈28 % parempi kuin VVC; neuraaliset silmukkasuodattimet 6–14 % hintaan 10–22+ kMAC/pikseli; ByteDancella 645 patenttiperhettä VVC:n jälkeisessä työssä
5 Kuka ansaitsee, ja missä yritys voi toimia?	Alustat, IP-toimittajat, patentinhaltijat. Puhtaasti neuraalikoodekkeihin keskittyneet startup-yritykset ostettiin. Mahdollisuudet: esi- ja jälkikäsittely, suljetut järjestelmät, koodekin ja NPU:n yhdistävät piirit, arviointi	VVC-pooli 0,50 dollaria puhelimelta; AV2-dekooderi-IP:tä lisensoitiin viikkojen kuluessa määrittelystä; kolme yritysostoa, ehtoja ei julkistettu
6 Mihin väitteisiin on suhtauduttava varauksella?	Hyödyt, jotka on ilmoitettu vanhoihin koodekkeihin verrattuna, pienellä resoluutiolla, ilman dekoodauksen kustannusta tai demoista eikä julkaistuista tuotteista	MLVC: 88 % vähemmän kuin H.264 mutta 65–76 % vähemmän kuin laitteisto-HEVC; tekstuurit: 85 %:n VRAM-säästö demossa, noin 30 % julkaistussa pelissä

KUVIO 01

Missä neuraalinen koodaus on käytössä vuonna 2026

Neuroverkot toimivat jo valtavirran koodekkien kummassakin päässä. Päästä päähän -neuraalikoodekit ovat käytössä vain siellä, missä sama yritys hallitsee sekä kooderia että dekooderia.

	Standardikoodekin ympärillä esikäsittely, kuvanparannus, ylösskaalaus	Päästä päähän -neuraalikoodekki opittu kooderi ja dekooderi	Standardin sisällä neuraaliset työkalut standardin bittivirrassa tai API:ssa
01 Toisto ja suoratoisto	● LAAJASSA KÄYTÖSSÄ Netflixin alasskaalain; YouTuben ja Metan superresoluutio; televisioiden tekoälyskaalaimet	● EI KÄYTÖSSÄ Mikään suoratoistopalvelu ei lähetä neuraalista videoformaattia; televisiot ja puhelimet dekoodaavat standardikoodekkeja laitteistolla	● STANDARDOINNISSA H.267:n version 1 on määrä valmistua vuoden 2029 lopussa; neuraaliset työkalut ovat ehdokkaiden joukossa
02 Valokuvaus ja kuvantaminen	● LAAJASSA KÄYTÖSSÄ Tekoäly-ISP:t lippulaivapuhelimissa; täysin neuraalinen ISP esiteltiin IP:nä CES 2026 -messuilla	● DEMOJA, PILOTTEJA JPEG AI on ISO-standardi: puhelindemoja, ei tuotetta	● EI KÄYTÖSSÄ Yleistyvä formaatti on klassinen: JPEG XL oletuksena käytössä Chrome 155:ssä
03 Puhelut ja kokoukset	● LAAJASSA KÄYTÖSSÄ Vastaanottopään superresoluutio ja neuraalinen kohinanvaimennus	● LAAJASSA KÄYTÖSSÄ Neuraalinen ääni Teamsin kahdenkeskisissä puheluissa vuodesta 2021; MLVC-videota otetaan käyttöön Teamsissa	● RAJOITETUSTI KÄYTÖSSÄ Opus 1.5 tuo valinnaiset, taaksepäin yhteensopivat ML-työkalut
04 Generatiivinen tekoäly	—	● LAAJASSA KÄYTÖSSÄ Jokainen video- ja puhemalli käyttää opittua tokenisoijaa, esim. video-VAE:ta, jonka pakkaussuhde on 1:192	—
05 Pelit ja grafiikka	● LAAJASSA KÄYTÖSSÄ Neuraalinen ylösskaalaus ja kuvien generointi: pelkkä DLSS 4 yli 250 pelissä ja sovelluksessa	● RAJOITETUSTI KÄYTÖSSÄ Neuraaliset tekstuurit julkaistu yhdessä AAA-pelissä; NVIDIAn SDK on beta-vaiheessa	● STANDARDOINNISSA DirectX lisää varjostimiin matriisioperaatiot (esiversio)
06 Erikoisyhteydet: satelliitit, robotit	● DEMOJA, PILOTTEJA Matalan bittinopeuden syötteiden korjaus palvelimella	● DEMOJA, PILOTTEJA Häviönsietoiset neuraalikoodekit tutkimuksessa ja kokeiluissa	—

Lähde: Raportissa viitatut yritys-, standardi- ja kehittäjäasiakirjat; tilanne 12. marraskuuta 2026. Rivit on järjestetty sen mukaan, kuinka monta ihmistä kukin alue tavoittaa.

RAJAUS JA MENETELMÄ

01 Mitä ”neuraalinen koodaus” tässä tarkoittaa ja miten tutkin sitä

Kolme tapaa, joilla neuroverkko tulee koodekkiin

”Neuraalinen koodaus” kattaa kolme eri asiaa, ja useimmat aiheesta käytävät kiistat johtuvat niiden sekoittamisesta.

01 **Koodekin ympärillä.** Neuroverkko käsittelee pikseleitä ennen koodausta tai dekoodauksen jälkeen, ja bittivirta pysyy standardinmukaisena. Esimerkkejä: tekoälyä hyödyntävä kuvasignaaliprosessori (ISP) kamerassa, Netflixin neuraalinen alasskaalain ennen kooderia, superresoluutio televisiossa. Mikä tahansa laite voi toistaa virran; neuroverkko muuttaa vain sitä, mitä menee sisään tai tulee ulos.

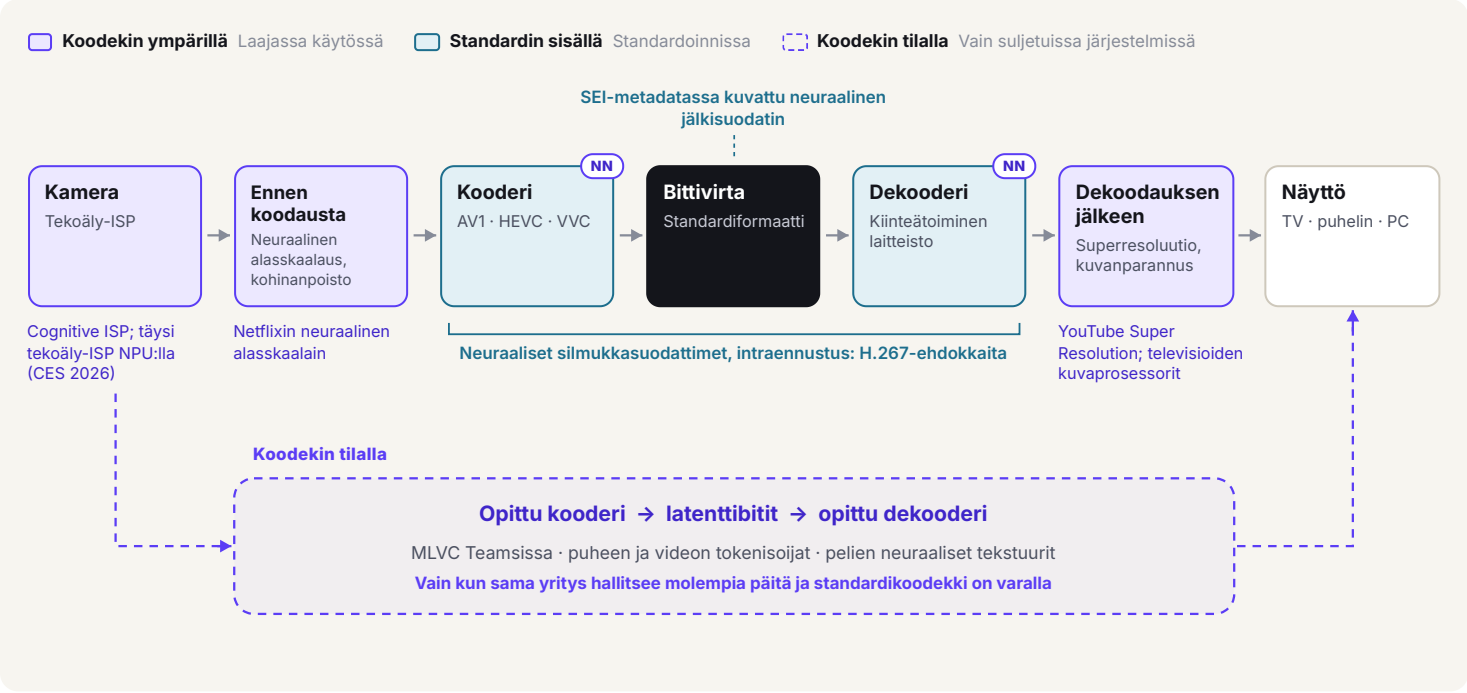
02 **Standardin sisällä.** Neuroverkosta tulee standardikoodekin työkalu, esimerkiksi neuraalinen silmukkasuodatin tai intraennustin, jota jokaisen dekooderin on ajettava, joten se on määriteltävä täsmällisesti, tyypillisesti kokonaislukuaritmetiikalla. Kevyempi muoto on neuraalinen jälkisuodatin, jonka bittivirta kuvaa metadatassa ja jonka dekooderit voivat halutessaan ajaa.

03 **Koodekin tilalla.** Sekä kooderi että dekooderi opitaan päästä päähän. Bittivirta on joukko kvantisoituja latenttiarvoja, jotka vain vastaava neuroverkko osaa dekoodata. Esimerkkejä: Microsoftin MLVC Teamsissa, puhemallien puhetokenisoijat, neuraaliset tekstuurit pelissä.

KUVIO 02

Kolme tapaa, joilla neuroverkko tulee koodekkiin

Suurin osa vuonna 2026 käytössä olevasta toimii standardikoodekin ympärillä. Standardin sisäisiä neuraalisia työkaluja määritellään parhaillaan. Päästä päähän -neuraalikoodekit korvaavat koodekin vain siellä, missä sama yritys hallitsee molempia päitä.



Lähde: Kirjoittajan yhteenveto raportin lähteistä; tilanne 12. marraskuuta 2026.

Ensimmäinen tapa ei vaadi kenenkään lupaa. Toinen vaatii standardin. Kolmas vaatii molempien päiden hallinnan. Tässä järjestyksessä ne tavoittavat ihmiset, ja se selittää suurimman osan siitä, mitä seuraavaksi käsitellään.

Järjestys todellisen maailman eikä tutkimusagendan mukaan

Tutkimusartikkelit käsittelevät enimmäkseen kolmatta tapaa, koska pakkausennätykset tehdään siellä. Tämä raportti järjestää alueet sen mukaan, kuinka monta ihmistä ne tavoittavat, koska se ratkaisee, mihin raha ja insinöörityö menevät: ensin toisto ja suoratoisto, sitten valokuvaus, puhelut, generatiivinen tekoäly ja pelit, ja viimeisenä erikoisyhteydet (satelliitit, droonit, robotit). Video muodostaa Ericssonin laskelman mukaan noin 75 % kaikesta mobiilidataliikenteestä vuoden 2025 lopussa. Vuonna 2025 ala toimitti noin 1,26 miljardia älypuhelinta (IDC) ja noin 196–209 miljoonaa televisiota (TrendForcen ja Omdian arviot). Jokainen niistä dekoodaa videon kiinteätoimisella laitteistolla.

Miten työskentelin

Tämä on pöytätutkimus, joka on tehty samalla tavalla kuin arvioisin piiriä tai tuotesuunnitelmaa. Luin standardiasiakirjoja ja kokousraportteja (JVET, MPEG, JPEG, AOMedia, IETF), yritysten insinööriblogeja ja julkaisutietoja, piiriartikkeleita, patenttipoolien hinnastoja, vientivalvontasäädöksiä ja lehdistöä. Jokaisella luvulla on päivämäärä. Kun johdan luvun itse, esimerkiksi pikselikohtaisen laskennan artikkelin taulukoista, kerron sen ja merkitsen luvun tunnisteella `arvio`. Väitteet, joita en voinut tarkistaa alkuperäislähteestä, on merkitty tunnisteella `valmistajan väite`. Rahamäärät ovat Yhdysvaltain dollareina. Tilanne on 12. marraskuuta 2026.

Vertaan samanlaisia asioita keskenään aina kun voin ja kerron, kun en voi. Pakkaushyödyt merkitsevät vähän ilman neljää tietoa: vertailukohta (hyöty mihin verrattuna), mittari (PSNR, VMAF tai katsojaraati), sisältö ja resoluutio sekä dekoodauksen kustannus. Suurin osa neuraalikoodekkeja koskevista erimielisyyksistä katoaa, kun nämä neljä on kerrottu.

LUKU 02

TOISTO JA SUORATOISTO

02 Toisto ja suoratoisto: neuraalinen molemmissa päissä, standardi keskellä

Katsojat saavat yhä standardin mukaisen bittivirran

Suurimmat videopalvelut saivat yhden koodekkisiirtymän päätökseen ja aloittavat seuraavaa, eikä kumpaankaan liity neuraalista dekooderia. Joulukuussa 2025 Netflix kertoi, että noin 30 % sen katselusta kulki AV1-muodossa; se oli palvelun toiseksi käytetyin koodekki AVC:n jälkeen. AV1 tuli televisioihin vasta, kun laitteistodekooderit tulivat: Netflix lisäsi AV1:n laitesertifiointiinsa vuonna 2019, suoratoisti sitä televisioihin vuoden 2021 lopulta alkaen ja kertoo, että 88 % vuosina 2021–2025 sertifioitavaksi toimitetuista suurinäyttöisistä laitteista tuki sitä, lähes kaikki vuodesta 2023 alkaen. YouTube kertoi, että 19. maaliskuuta 2026 yli 90 % sen katalogista katseluajalla painotettuna oli saatavilla AV1-muodossa.

AV2, Alliance for Open Median kehittämä AV1:n seuraaja, saavutti 28. toukokuuta 2026 version 1.0.0, ja sen pakkausteho on AOMedian objektiivisten mittausten mukaan noin 30 % parempi kuin AV1:n. YouTube suunnittelee AV2-suoratoistoa verkkoon ”jo alkuvuonna 2027”. Piirit seurasivat heti: Chips&Media sai AV2-laitteistodekooderin valmiiksi toukokuussa ja lisensoi sen kesäkuussa nimeämättömälle pohjoisamerikkalaiselle teknologiajätille; Allegro DVT oli toimittanut AV2-dekooderi-IP:nsä kolmelle asiakkaalle 16. kesäkuuta mennessä; VeriSilicon oli julkaissut AV2:ta tukevan video-IP:n useille asiakkaille 10. kesäkuuta mennessä. AV2 on klassinen koodekki: sen hyödyt tulevat paremmasta lohkojaosta, ennustuksesta, muunnoksista ja silmukkasuodattimista (yksi niistä on ”datalähtöinen” ohjattu yksityiskohtasuodatin), eivät päästä päähän -neuroverkosta.

VVC, nykyinen ITU:n ja ISO:n standardi, löysi ensimmäisen lähetyskotinsa Brasiliasta, jonka DTV+ (TV 3.0) -järjestelmä siirtyi kaupalliseen käyttöön kesäkuussa 2026 jalkapallon MM-kisojen alla. Heinäkuussa 2026 yhdessäkään Brasiliassa myytävässä televisiossa ei ollut sisäänrakennettua DTV+-vastaanotinta; ensimmäisiä odotetaan vuoden 2026 lopun ja vuoden 2027 alun välillä.

Kooderilla: Netflixin neuraalinen alasskaalain

Selkein esimerkki neuraalisesta koodauksesta toistossa on ollut käytössä vuodesta 2022, eikä se muuta mitään siitä, mitä katsojan laitteen on tehtävä. Netflix koodaa jokaisen nimikkeen useilla resoluutioilla, ja alasskaalausvaihe, joka tuottaa 4K-masterista 1080p-, 720p- ja 540p-versiot, käytti perinteisesti kiinteää suodatinta, kuten Lanczosia. Netflix korvasi sen pienellä neuroverkolla, jossa esikäsittelylohkoa seuraa koonmuutoslohko ja joka on koulutettu parantamaan laatua sellaisena kuin se näkyy laitteen tavallisen ylösskaalaimen jälkeen. Netflix kuvaa sitä suoraan nykyisen tilalle sopivaksi ratkaisuksi: muita muutoksia ei tarvita koodauspuolella eikä asiakaspuolella, joten ”miljoonat Netflix-suoratoistoa tukevat laitteet hyötyvät automaattisesti”. Netflixin mieltymystesteissä noin 77 % katsojista valitsi neuraalisen alasskaalaimen tuloksen valmistajan väite. Jotta kustannus pysyisi Netflixin mittakaavassa hyväksyttävänä, ”vain muutama neuroverkkokerros riitti”.

Tämä kaava kannattaa muistaa. Neuroverkko ajetaan kerran nimikettä kohden datakeskuksessa, jossa laskenta on halpaa ja ajoitettavissa, ja tuloksena on tavallinen AV1- tai HEVC-virta.

Näytöllä: superresoluutio sovelluksessa ja televisiossa

Toisessa päässä neuroverkot korjaavat sen, mitä koodekki ja lähde menettivät. YouTube julkisti 29. lokakuuta 2025 TV-sovellukseensa Super Resolution -toiminnon: alle 1080p-resoluutiolla ladatut videot (240p:stä 720p:hen) skaalataan koneoppimisella HD-resoluutioon, ja ilmoitettuna tavoitteena on 4K. Ylösskaalatut versiot merkitään, katsojat voivat vaihtaa takaisin alkuperäiseen ja sisällöntuottajat voivat kieltäytyä toiminnosta. Meta kuvasi lokakuussa 2025, miten se ajaa videon superresoluutiota sekä palvelimillaan latauksen yhteydessä, tavallisilla x86-suorittimilla yhteistyössä Intelin kanssa, että asiakaslaitteella toiston aikana, ja totesi näiden kahden täydentävän toisiaan. Televisiovalmistajat tekevät samaa piireillä: Samsung mainostaa 8K-lippulaivaprosessorissaan NQ8 AI Gen3:ssa olevan 768 neuroverkkoa ylösskaalaukseen.

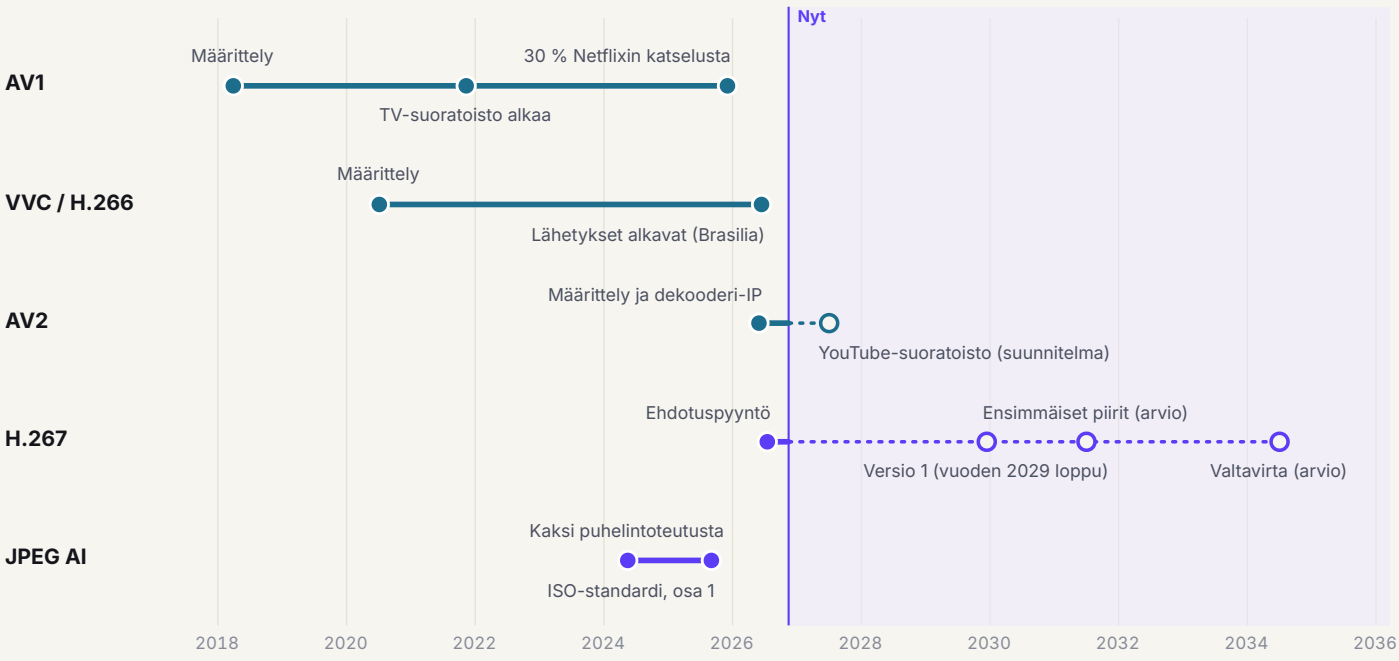
Talous riippuu siitä, missä neuroverkko ajetaan. Palvelinpuolen käsittely maksaa alustalle laskentaa jokaisesta videosta, jota se käsittelee. Laitepuolen käsittely ei maksa alustalle mitään; se käyttää NPU:ta, jonka ostaja on jo maksanut. Siksi suurimmat hyödyt tulevat vuonna 2026 molemmista.

Miksi yksikään televisio ei dekoodaa neuraalista bittivirtaa

Toistoformaatin on oltava dekoodattavissa jokaisella laitteella, joka sitä koskaan toistaa, ja nuo laitteet ovat käytössä vuosia. Siksi tie valmiista standardista valtavirran näytöille on hidas jopa klassisille koodekeille. AV1:n määrittely valmistui maaliskuussa 2018; dav1d-ohjelmistodekooderi seurasi muutamassa kuukaudessa; televisiot suoratoistivat sitä vuoden 2021 lopulta alkaen; se saavutti noin 30 %:n osuuden Netflixin katselusta joulukuussa 2025, lähes kahdeksan vuotta määrittelyn jälkeen. VVC valmistui heinäkuussa 2020 ja pääsi ensimmäiseen lähetyspalveluun kesäkuussa 2026.

KUVIO 03 **Valmiista standardista valtavirran näyttöihin kuluu suurin osa vuosikymmenestä**

Toisto vaatii laitteeseen laitteistodekooderin. AV1:ltä kului valmiista määrittelystä lähes kahdeksan vuotta 30 %:n osuuteen Netflixin katselusta; ensimmäisen standardin, joka todennäköisesti tuo neuraaliset työkalut, on määrä valmistua vuoden 2029 lopulla.



Lähde: Netflix Tech Blog (joulukuu 2025); AOMedia; Allegro DVT; TV Technology; Fraunhofer IIS (Brasilian DTV+); MPEG-155; JPEG-komitea; ISO. Avoimet merkit ovat tavoitteita tai kirjoittajan arvioita.

Neuraalinen bittivirta tuo kaksi ongelmaa, jotka klassiset koodekit ratkaisivat kauan sitten: energian pikseliä kohden ja bittitarkan dekoodauksen. Molempia käsitellään luvussa 8. Yhdessä ne merkitsevät, ettei yksikään televisio- tai puhelinvalmistaja laita neuraalista videodekooderia jokaiseen laitteeseen ennen kuin standardi kertoo tarkalleen, mitä rakentaa.

Mikä sen muuttaisi: H.267

Standardi, joka voisi viedä neuraaliset työkalut jokaiseen näyttöön, on VVC:n seuraaja, jota ITU-T ja ISO/IEC kehittävät yhdessä Joint Video Experts Team -ryhmässä (JVET). Sen nimi ei ole lopullinen; kutsun sitä nimellä H.267, kuten suuri osa alasta.

Lokakuussa 2025 JVET arvioi vastaukset näyttöpyyntöön: viisi vastausta 16 yritykseltä ja tutkimuslaboratoriolta, ja testattavana oli 20 koodekkikonfiguraatiota. Komitea löysi näyttöä VVC:tä paremmasta pakkauksesta ja piti sekä parannettua perinteistä tekniikkaa että neuroverkkotekniikkaa ”kiinnostavina”. Neuraaliset lähestymistavat toivat selviä havaittavia hyötyjä erityisesti 8K HDR -sisällössä ja pienempiä hyötyjä pelisisällössä. Yksi vastaajista, InterDigital, toimitti yhden perinteiseen Enhanced Compression Modeliin (ECM) perustuvan ratkaisun ja yhden, jossa tekoälytyökaluja oli lisätty VVC:n päälle.

Virallinen ehdotuspyyntö julkaistiin heinäkuun 2026 kokouksessa Genevessä. Pääehdotusten määräaika oli lokakuun 2026 lopussa, täydentävän paketin määräaika on joulukuun puolivälissä, ja vastaukset arvioidaan JVET:n kokouksessa Brisbanessa tammikuussa 2027. JVET odottaa ensimmäistä testimallia vuoden 2027 jälkipuoliskolla ja standardin ensimmäistä versiota vuoden 2029 loppuun mennessä ja kutsuu hanketta ”luultavasti suuremmaksi ponnistukseksi kuin koskaan aiemmin uuden standardin käynnistämiseksi”.

Klassinen linja asettaa riman korkealle. Perinteisellä signaalinkäsittelyllä rakennettu ECM säästää random access -konfiguraatiossa noin 28 % VVC:hen verrattuna. JVET:n neuroverkkoselvitys raportoi silmukkasuodattimia, jotka säästävät noin 6 % 10 tuhannella MAC-operaatiolla pikseliä kohden, 8 % 22 tuhannella ja 14 % korkean kompleksisuuden toimintapisteessä. Oma tulkintani on, että H.267 on todennäköisimmin klassinen ydin, jossa on muutama neuraalinen työkalu siellä, missä säästetyt bitit oikeuttavat dekooderin kustannuksen, ja että tammikuun 2027 arviointi näyttää, kuinka monta niitä on analyysi.

Silta on jo olemassa. VVC- ja HEVC-virrat voivat sisältää SEI-viestejä (supplemental enhancement information), jotka kuvaavat dekooderipuolella ajettavan neuraalisen jälkisuodattimen, ja lokakuussa 2025 valmistuneet VVC:n ja sen SEI-standardin (VSEI) uudet painokset laajensivat näitä viestejä. Virta voi kertoa, mikä neuroverkko ajetaan dekoodauksen jälkeen, pakottamatta jokaista dekooderia ajamaan sitä.

Mitä tämä merkitsee toiston liiketoiminnalle

Myy nyt sitä, mikä toimii koodekin ympärillä: koodauspään esikäsittelyä palveluille sekä jälkikäsittelylohkoja ja viritystä television ja digiboksien piireille. Älä rakenna toistoliiketoimintaa neuraalisen bittivirran varaan, jonka on dekoodauduttava kolmansien osapuolten laitteilla ennen 2030-lukua. Jos teet piirejä, lähiajan tulot tulevat AV2- ja VVC-dekoodereista; neuraalinen osuus on niiden rinnalla kulkeva NPU-polku kuvanparannukselle (luku 8).

LUKU 03

VALOKUVAUS JA KUVAT

03 Valokuvaus ja kuvat: neuraalinen kamerassa, klassinen verkossa

Kameran käsittelyketju on jo neuraalinen

Jokainen uuden lippulaivapuhelimen ottama kuva on kulkenut neuroverkkojen läpi ennen pakkaamista. Qualcommin Snapdragon 8 Gen 2 toi vuoden 2023 puhelimiin ”Cognitive ISP:n”, joka tekee reaaliaikaista semanttista segmentointia kuvan ja videon tallennuksen aikana ja säätää kasvoja, hiuksia, taivasta ja taustaa erikseen; Samsungin Galaxy S23 Ultra oli ensimmäinen puhelin, joka käytti sitä selfie-kamerassa. Tammikuussa 2026 Chips&Media ja Visionary.ai esittelivät CES-messuilla ratkaisun, jota ne kutsuvat ensimmäiseksi täysin tekoälypohjaiseksi ISP:ksi: päästä päähän toimiva kuvankäsittelyketju, jota ajetaan kokonaan NPU:lla, Chips&Median WAVE-N:llä, 16-bittisellä liukulukuaritmetiikalla, ilman kiinteätoimista ISP:tä, ja jota voidaan päivittää langattomasti. ”Nykyiset käsittelyketjut kiinnittävät neuraalisia lohkoja kiinteätoimiseen ISP:hen. Me korvaamme perinteisen ISP:n kokonaan”, Visionary.ai:n toimitusjohtaja sanoi. Sitä tarjottiin valmistajille arvioitavaksi messujen jälkeen.

Sen jälkeen tulos tallennetaan JPEG- tai HEIF-muotoon, klassisiin formaatteihin, jotka mikä tahansa laite osaa avata. Kaava on sama kuin toistossa: neuraalinen yhden yrityksen oman käsittelyketjun sisällä, standardi rajapinnassa.

JPEG AI: valmis neuraalinen standardi, jolla ei vielä ole tuotetta

JPEG AI on ISO/IEC:n ja ITU-T:n ensimmäinen opittu kuvankoodausstandardi (ISO/IEC 6048, ITU-T T.840). Sen osa 1, ydinkoodausjärjestelmä, julkaistiin vuonna 2025. JPEG-komitea raportoi 12,5–27,9 %:n pakkaushyödyt VVC:n intrakoodaukseen verrattuna, kun dekooderin kompleksisuus vaihtelee 7 tuhannesta 216 tuhanteen MAC-operaatioon pikseliä kohden. Sen rakenteessa on kaksi kooderia ja kolme dekooderia, jotka on koulutettu yhdessä, joten vastaanotin voi toteuttaa vain yhden dekooderin ja silti lukea jokaisen virran. Toukokuuhun 2024 mennessä komitea raportoi kaksi älypuhelintoteutusta. Samaan aikaan IEEE julkaisi joulukuussa 2024 standardin IEEE 1857.11-2024, joka koskee NPU:ille suunniteltua neuroverkkopohjaista kuvankoodausta.

Marraskuussa 2026 en löytänyt yhtään puhelimen kameraa, kuvasovellusta tai selainta, joka kirjoittaisi tai lukisi JPEG AI -kuvia oletuksena.

Mitä verkko otti käyttöön sen sijaan: JPEG XL

Vuonna 2026 jalansijaa saanut kuvaformaatti on klassinen. Google otti 6. lokakuuta 2026 JPEG XL -dekoodauksen oletuksena käyttöön Chrome 155:ssä uudella, Rustilla kirjoitetulla muistiturvallisella dekooderilla, neljä vuotta sen jälkeen, kun se oli poistanut kokeellisen tuen. Safari on dekoodannut JPEG XL:ää vuodesta 2023, ja Mozilla on liikkunut samaan suuntaan. Googlen perustelut ovat JPEG-muotoa parempi pakkaus, olemassa olevien JPEG-tiedostojen häviötön uudelleenpakkaus, HDR ja progressiivinen dekoodaus.

Opetus on yleistettävissä. Formaatti, jonka on auettava kaikkialla, menestyy nopealla, deterministisellä dekooderilla, joka toimii millä tahansa suorittimella ja voidaan tehdä muistiturvalliseksi. Neuraalinen kuvadekooderi tarvitsee NPU:n tai GPU:n ja täsmällisen aritmetiikan eri laitteiden välillä. Neuraalinen koodaus

voittaa laitteen oman käsittelyketjun sisällä ja järjestelmissä, joissa sama yritys koodaa ja dekoodaa, kuten pilvikuvapalvelussa, joka ei koskaan luovuta pakattua tiedostoa kenellekään muulle.

Mitä tämä merkitsee kuvantamisen liiketoiminnalle

Raha on kuvauksen käsittelyketjussa: tekoäly-ISP:n IP, kuvantamiseen mitoitetut NPU:t ja viritystyö, jota kameravalmistajat ostavat. Tallennuksessa ja jakelussa opittu kuvakoodekki on tänään suljettujen järjestelmien työkalu, ei formaatti, johon kannattaa lyödä vetoa.

LUKU 04

PUHELUT JA KOKOUKSET

04 Puhelut ja kokoukset: missä päästä päähän -neuraalikoodekit todella ovat käytössä

Ääni ensin

Microsoft esitteli tekoälypohjaisen puhekoodekin Satinin helmikuussa 2021 ja kertoi, että sitä käytettiin jo kaikissa Teamsin ja Skypen kahdenkeskisissä puheluissa. Satin tuottaa superlaajakaistaista puhetta, jonka äänikaista on enintään 16 kHz, 6 kbps:n nopeudella, kun Skypen aiempi Silk-koodekki oli tällä nopeudella kapeakaistainen. Säästetty bittinopeus käytetään redundanssiin, joten puhelut kestävät pakettihäviöitä paremmin.

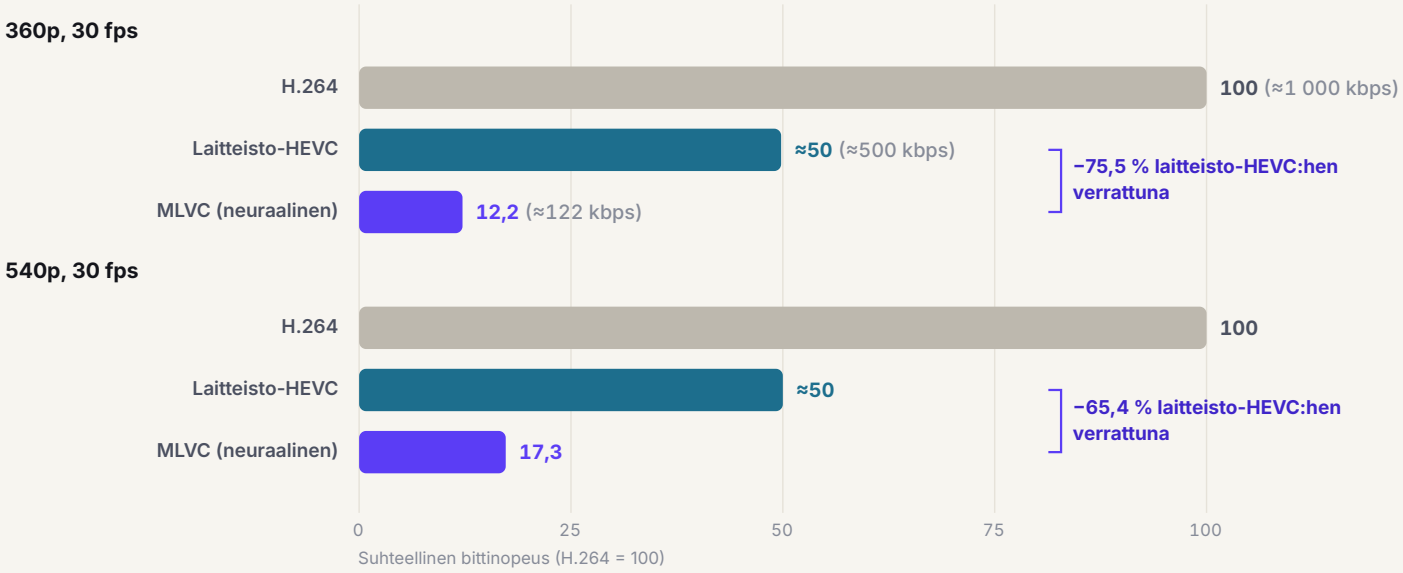
MLVC: neuraalinen videokoodekki tuotantokäytön puheluissa

Microsoft julkaisi 24. heinäkuuta 2026 koneoppimiseen perustuvan videokoodekkinsa MLVC:n avoimena lähdekoodina MIT-lisenssillä; mukana ovat mallin koodi, koulutetut painot, koulutusskriptit ja eri NPU:ille tarkoitetut muunnostyökalut. MLVC on tuoteversio DCVC-perheestä, jota Microsoft Research on julkaissut vuodesta 2021. Microsoftin mukaan MLVC:tä otetaan käyttöön Teamsin vertaisyhteyspuheluissa, ja käytössä ovat reaaliaikainen telemetria, A/B-testaus ja perinteiset koodekit varalla.

MLVC toimii 540p- ja 360p-resoluutioilla 30 kuvalla sekunnissa, ja se on suunniteltu käyttämään enintään puolet NPU:sta Applen Neural Enginessä sekä Qualcommin ja Intelin NPU:issa jakamalla työn suorittimen ja NPU:n kesken. Microsoftin oman Video Conferencing Dataset -aineiston subjektiivisissa ITU-T P.910 -testeissä se tarvitsi 360p-resoluutiolla 87,8 % pienemmän bittinopeuden kuin H.264 ja 75,5 % pienemmän kuin laitteisto-HEVC, ja 540p-resoluutiolla vastaavasti 82,7 % ja 65,4 % pienemmän valmistajan väite. 360p-resoluutiolla tämä tarkoittaa noin 122 kbps, kun H.264 tarvitsee noin 1 Mbps.

KUVIO 04 **Puheluissa neuraalikoodekki pärjää 65–76 % pienemmällä bittinopeudella kuin laitteisto-HEVC**

Samaan arvioituun laatuun tarvittava bittinopeus Microsoftin videoneuvottelujen testiaineistolla, H.264 = 100. MLVC toimii kannettavien ja puhelinten NPU:illa enintään 540p30-videolla ja käyttää korkeintaan puolet NPU:sta.



Lähde: Microsoft, MLVC-julkaisu (24. heinäkuuta 2026): ITU-T P.910 -menetelmän mukaiset subjektiiviset testit yhtiön Video Conferencing Dataset -aineistolla. HEVC-palkit on johdettu ilmoitetuista säästöistä. Valmistajan väitteitä, ei riippumattomia mittauksia.

Kaksi asiaa hillitsee otsikkolukua. 88 % on verrattu H.264:ään; samoissa kannettavissa jo olevaan laitteisto-HEVC:hen verrattuna luku on 65–76 %, mikä on yhä paljon. Lisäksi MLVC luopui pakkaustehosta tullakseen käyttökelpoiseksi: riippumattoman analyysin mukaan havaittuun laatuun koulutettu DCVC-RT saa samalla mittarilla 81,9 %, kun MLVC saa 75,5 %. Identtisen dekoodauksen hinta laitteistolla, jota Microsoft ei omista, oli noin kuusi prosenttiyksikköä.

Miksi puhelut ovat luonteva koti

Puhelu on suljettu järjestelmä. Molemmissa päätepisteissä on sama sovellus, ne neuvottelevat kykynsä puhelun alussa ja voivat kesken puhelun turvautua standardikoodekkiin. Resoluutiot ovat vaatimattomia, verkot ovat usein huonoja, ja molempien päiden kannettavissa on nyt NPU, kuten puhelimissa on ollut jo vuosia. Microsoft asettaa tekoäly-PC:iden rimaksi 40 TOPSin NPU:n, ja Applen M4:n Neural Enginen teho on 38 TOPS. Tästä puuttuvat kaikki ne ehdot, jotka estävät neuraalikoodekin toistossa.

Vastaesimerkit: Opus ja MLow

Kaikki puhelualustat eivät tehneet samaa valintaa, ja syyt ovat opettavaisia.

WebRTC:n ja useimpien puhelusovellusten avoin äänikoodekki Opus otti syväoppimisen käyttöön versiossa 1.5 (maaliskuu 2024); se oli ensimmäinen kerta, kun neuroverkkoja käytettiin itse signaalin käsittelyyn tai tuottamiseen. Se lisäsi ne kuitenkin valinnaisina: dekooderipuolen laadunparannus (LACE ja NoLACE), joka ei vaadi muutoksia bittivirtaan, neuraalinen pakettihäviöiden peittäminen ja syvä redundanssimenetelmä (DRED); kaikki ovat oletuksena pois päältä, jotta vanhoja laitteita ei kuormiteta. Opus 1.6 lisäsi neuraalisen kaistanlaajennuksen ja kolme kertaa pienemmän DRED-mallin ja on yhä täysin yhteensopiva vuoden 2012 standardin kanssa. Lähestymistapa on ”standardin sisällä, valinnainen ja taaksepäin yhteensopiva”.

Meta palasi vielä kauemmas taaksepäin. Kesäkuussa 2024 se julkaisi matalan bittinopeuden puhekoodekin nimeltä MLow, joka perustuu neuroverkon sijaan klassiseen signaalinkäsittelyyn ja on nyt käytössä kaikissa

Instagramin ja Messengerin puheluissa ja tulossa käyttöön WhatsAppissa. Metan syyt olivat sen laitteissa: yli 20 % sen puheluista soitetaan ARMv7-puhelimilla, ja kymmeniä miljoonia WhatsApp-puheluita päivässä soitetaan yli kymmenen vuotta vanhoilla puhelimilla. Neuraalikoodekit, myös Metan oma EnCodec, toimivat luotettavasti vain kalliilla puhelimilla, Meta kirjoitti. MLow tarjoaa 6 kbps:n nopeudella noin kaksinkertaisen laadun Opukseen verrattuna ja käyttää 10 % vähemmän laskentaa.

Palvelulle, jonka käyttäjien laitteet ulottuvat lippulaivakannettavista vuosikymmenen vanhoihin puhelimiin, kompleksisuusbudjetti ratkaisee. Neuraalikoodekit tulevat käyttöön ensin siellä, missä laitekanta on uusi ja palveluntarjoaja hallitsee molempia päitä.

Mitä tämä merkitsee viestinnän liiketoiminnalle

Yritysten videoneuvottelut, etäläsnäolo, etätuki, syöttöyhteydet ja yksityiset verkot ovat paikkoja, joissa päästä päähän -neuraalikoodekki on tuote jo tänään, kunhan molemmat päät ovat omiasi. Suunnittele alusta asti kolme asiaa: varakoodekki, dekoodaustestit jokaisella tukemallasi NPU:lla ja laadun arviointi omalla sisällölläsi eikä valmistajan aineistolla.

LUKU 05

GENERATIIVINEN TEKOÄLY

05 Generatiivinen tekoäly: suurin käyttöönotto, jota kukaan ei kutsu koodekiksi

Jokainen puhe- ja videomalli toimii opitun koodekin varassa

Päästä päähän toimivan neuraalisen pakkauksen suurin käyttöönotto ei ole missään koodekkistandardissa. Se on generatiivisen tekoälyn sisällä. Puhemalli ei kuuntele eikä tuota aaltomuotoja suoraan: se lukee ja kirjoittaa opitun äänikoodekin diskreettejä tokeneita. Vuonna 2024 julkaistu Kyutain Mimi muuttaa puheen tokeneiksi nopeudella 12,5 kehystä sekunnissa ja 1,1 kbps, mikä on vähemmän kuin millään puhelinkoodekilla, ja yhdistää semanttisen ja akustisen informaation samaan virtaan. Vuonna 2022 julkaistu Metan EnCodec on toinen esimerkki; Metan omat insinöörit kuvasivat myöhemmin tällaisia koodekkeja erinomaisiksi pienillä bittinopeuksilla mutta liian raskaiksi vanhemmille puhelimille (luku 4).

Videon generointi toimii samoin. Diffuusio- tai transformer-malli generoi opitun videoautoenkooderin (VAE) latenttiavaruudessa, ja VAE:n dekooderi muuttaa tuloksen pikseleiksi. LTX-Videon VAE pakkaa videota suhteessa 1:192: jokainen latenttitokeni vastaa 32×32 pikselin lohkoa 8 kuvan ajalta, ja kanavia on 128. Sen dekooderi tekee myös viimeisen kohinanpoistovaiheen, joten se osittain generoi yksityiskohtia eikä vain rekonstruoi niitä.

Miksi nämä eivät ole jakeluformaatteja

Nämä koodekit ovat käytössä jokaisessa puhe- tai videomallille tehdyssä pyynnössä, mutta mikään niistä ei ole formaatti, jota kukaan muu dekoodaisi. Jokaisella mallilla on oma latenttiavaruutensa; ei ole bittinopeuden säätöä, yhdenmukaisuustestiä eikä takuuta siitä, että toinen dekooderi tuottaisi saman kuvan. Ne on optimoitu generoinnin laatuun eikä vastaavuuteen alkuperäisen kanssa tietyllä bittinopeudella, ja ne dekoodataan datakeskusten GPU:illa. Niiden menestys osoittaa, että opittu pakkaus toimii laajassa mittakaavassa, kun sama yritys omistaa kooderin, dekooderin ja laitteiston.

Mitä tämä merkitsee liiketoiminnalle

Kaksi käytännön huomiota. Ensinnäkin tokenisoijan tehokkuus on suora kustannuserä kaikille, jotka tarjoavat generatiivista videota tai puhetta: transformerissa, jonka huomio kohdistuu kaikkiin tokeneihin, laskenta kasvaa nopeammin kuin tokenien määrä, joten tiiviimpi latenttiesitys pienentää generoinnin kustannusta enemmän kuin suoraan suhteessa analyysi. Koodekki-insinöörit, jotka ymmärtävät latenttien suunnittelua, entropiamalleja ja dekooderin tehokkuutta, ovat arvokkaita generatiivisen tekoälyn tiimeille. Toiseksi raja liikkuu: standardointielimet ovat aloittaneet työn koodauksesta koneille eikä ihmisille. MPEG:n Video Coding for Machines (ISO/IEC 23888-2) saavutti kansainvälisen standardin luonnosvaiheen alkuvuonna 2026, ja sen on määrä valmistua loppuvuonna 2026, ja JPEG AI suunniteltiin alusta alkaen palvelemaan konenäön tehtäviä ihmisten katselun lisäksi.

LUKU 06

PELIT JA GRAFIIKKA

06 Pelit ja grafiikka: neuraalinen rekonstruktio on valtavirtaa, neuraaliset resurssit vasta alussa

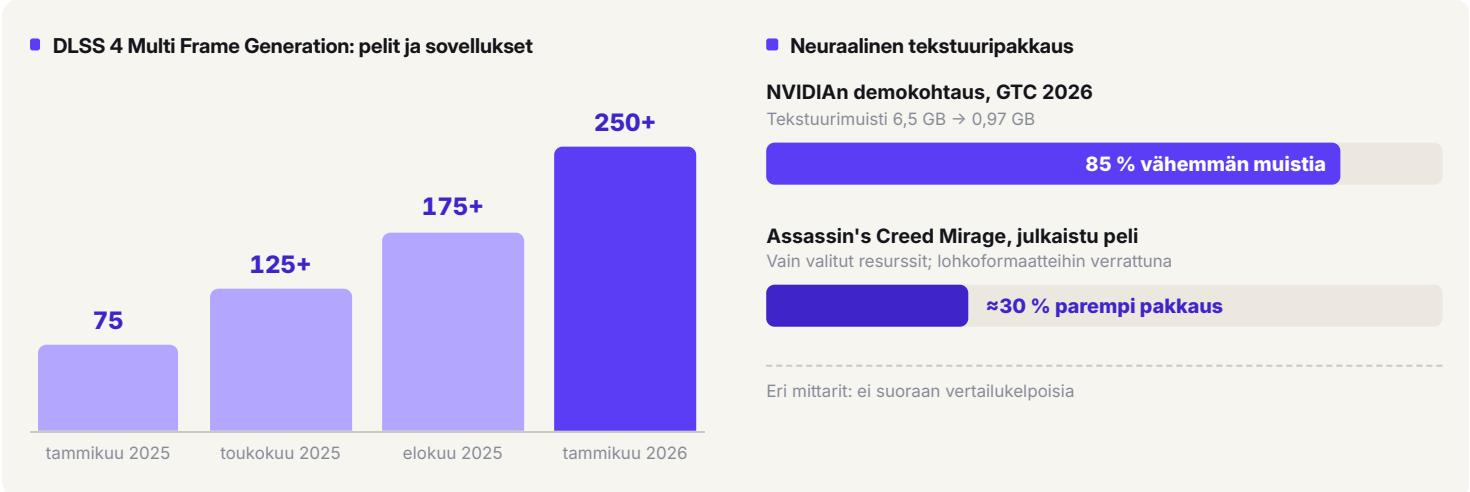
Vähemmän renderöityjä pikseleitä, ja neuroverkko täyttää loput

Reaaliaikaisessa grafiikassa neuroverkko rekonstruoi jo suurimman osan siitä, mitä pelaajat näkevät. NVIDIAn DLSS renderöi vähemmän pikseleitä ja vähemmän kuvia ja tuottaa loput neuroverkoilla. Multi Frame Generation -toiminnolla varustettu DLSS 4 julkaistiin tammikuussa 2025, ja sitä tuki 75 peliä ja sovellusta; NVIDIA laski niitä olevan yli 125 toukokuuhun 2025 mennessä, yli 175 elokuuhun mennessä ja yli 250 tammikuuhun 2026 mennessä, jolloin se julkisti DLSS 4.5:n ja sen toisen sukupolven transformer-mallin superresoluutiolle. Se on dekooderi kaikkea muuta paitsi nimeltään: ”bittivirta” on matalaresoluutioinen kuva ja liikedata, ja neuroverkko rakentaa niistä koko kuvan.

KUVIO 05

Kun yksi yritys hallitsee koko pinoa, neuraalinen rekonstruktio leviää nopeasti

Vasemmalla: NVIDIAn DLSS 4 Multi Frame Generation -tekniikkaa tukevat pelit ja sovellukset. Oikealla: neuraalinen tekstuuripakkaus demokohtauksessa ja julkaistussa pelissä, joka käytti sitä ajonaikaisen kustannuksen vuoksi vain valituissa resursseissa.



Lähde: NVIDIA (tammikuu 2025 – tammikuu 2026; GTC 2026 -demo); Ubisoft La Forge (helmikuu 2026). Valmistajan väitteitä; kaksi tekstuurilukua mittaavat eri asioita.

Neuraaliset tekstuurit on julkaistu, valikoiden

Tekstuurit pakataan kiinteisiin lohkoformaatteihin (BCn), jotka GPU:t dekoodaavat laitteistolla. Neuraalinen tekstuuripakkaus korvaa joukon materiaalitekstuureita tiiviillä latenttiesityksellä ja pienellä neuroverkolla, joka rekonstruoi tekselit silloin, kun niitä tarvitaan. Helmikuussa 2026 Ubisoftin La Forge -laboratorio kertoi sen käytöstä vuonna 2023 julkaistussa Assassin's Creed Mirage -pelissä: tehollinen pakkaus oli noin 30 % parempi kuin perinteisillä formaateilla samalla visuaalisella laadulla valmistajan väite. Sitä ei käytetty kaikkialla: ”käyttöä rajoitti ajonaikainen suorituskyky”, joten Ubisoft käytti sitä vain osaan resursseista, joilla oli paljon instansseja ja kova muistipaine.

NVIDIAn RTX Neural Texture Compression SDK, joka on GitHubissa beta-vaiheessa, näyttää ylärajan. GTC 2026 -tapahtuman esittelyssä huvilakohtaus, joka käytti BCn-muodossa 6,5 GB tekstuurimuistia, tarvitsi neuraalisilla tekstuureilla 970 MB, 85 % vähemmän valmistajan väite. SDK tarjoaa kaksi polkua: dekoodaus latausvaiheessa BCn-muotoon, mikä säästää levytilaa ja latauskokoa mutta ei videomuistia, tai dekoodaus näytteistyshetkellä, mikä säästää muistia mutta vie varjostinaikaa joka kuvassa.

Rajapinta on tulossa

Grafiikkarajapintoihin lisätään matriisioperaatioita, joita neuraalinen dekoodaus tarvitsee varjostimien sisällä. Microsoft julkaisi Shader Model 6.9:n helmikuussa 2026; vuonna 2025 esiversiona esitelty cooperative vector -ominaisuus sulautettiin yhtenäiseen lineaarialgebrarakenteeseen myöhempää varjostinmallia varten, ja DirectX Linear Algebra tuli julkiseksi esiversioksi huhtikuussa 2026. Kun se on jokaisessa ajurissa, neuraalinen tekstuuridekooderi voi toimia minkä tahansa valmistajan GPU:lla yhdellä koodipolulla.

Mitä tämä merkitsee liiketoiminnalle

Peleissä neuraalinen dekoodaus on käytössä, koska suljetun järjestelmän ehdot täyttyvät: yksi pelimoottori, yksi resurssien käsittelyketju, tensorilaitteisto GPU:ssa ja varaformaatti. Avoin työ on työkaluissa, neuraalisia materiaaleja koodaavissa resurssiketjuissa, valmistajariippumattomissa ajoympäristöissä ja ennen kaikkea mobiilissa, jossa energia dekoodattua tekseliä kohden ratkaisee.

LUKU 07

07

ERIKOISYHTEYDET

Erikoisyhteydet: satelliitit, droonit ja robotit

Nämä ovat tapauksia, joihin päästä päähän toimiva neuraalinen koodaus sopii paperilla parhaiten. Yksi omistaja hallitsee yhteyden molempia päitä, kaistaa on niukasti ja yhteys on häviöllinen, sisältö on niin rajattua, että mallin voi kouluttaa siihen, ja havainnon tai jopa pelkän merkityksen tasolla alkuperäistä vastaava kuva riittää usein. Häviönsietoiset neuraalikoodekit tällaisiin yhteyksiin ovat aktiivinen tutkimusalue, ja matalan bittinopeuden syötteiden korjausta palvelimella käytetään.

Ne ovat myös kuluttajavideoon verrattuna pienet ja yhä tiukemmin säännellyt markkinat analyysi. Kiinassa kauppaministeriön ja kahden muun viranomaisen ilmoitus nro 49/2026, joka annettiin 19. lokakuuta ja tulee voimaan 18. marraskuuta 2026, uudistaa 13 drooneihin liittyvän tuoteluokan vientivalvonnan. Alan lehdistön mukaan yksi teknologiakohdista koskee miehittämättömiä maa-alustoja, jotka määritellään osittain raja-arvoilla, kuten 75 %:n semanttinen kuvanpakkaus ja kuvan rekonstruointi 150 millisekunnissa. Semanttisesta pakkauksesta itsestään on tullut vientivalvonnan parametri. Yhdysvalloissa liittovaltion viestintävirasto (Federal Communications Commission) lisäsi ulkomailla valmistetut droonit ja niiden kriittiset komponentit Covered List -luetteloonsa 22. joulukuuta 2025, joten uudet ulkomaiset mallit eivät voi enää saada laitehyväksyntää.

Johtopäätös: järkevä markkinarako erikoistuneelle yritykselle, jolla on teollisuus- tai julkishallinnon asiakkaita ja valmiudet hoitaa vientivalvonnan vaatimukset molemmin puolin, mutta ei valtavirran markkina eikä paikka, jossa selviäisi, toimiiko neuraalinen koodaus laajassa mittakaavassa.

LUKU 08

08

PIIRIT

Piirien näkökulma: energia, laskenta, muisti ja täsmällisyys

Tässä luvussa oma taustani merkitsee eniten. Minulla on takanani monen vuoden kokemus fabless-piirien tutkimus- ja kehitystyöstä ja sen johtamisesta, mukaan lukien ASIC-datapolkujen full custom -suunnittelu ja multimedian kamerapiiriprojektit, kuten videokoodekkikiihdyttimet, eivätkä piiritiimin kysymykset uudesta koodekista koske BD-rate-lukua. Ne ovat: montako joulea pikseliä kohden, montako tavua DRAM-liikennettä pikseliä kohden, montako porttia, ja voiko jokainen dekooderi maailmassa laskea täsmälleen samat bitit? Kaikilla neljällä mittarilla neuraalinen dekooderi on vuonna 2026 siinä, missä laitteisto-HEVC oli ennen ensimmäisiä piirejään: lupaava ohjelmistona, kallis piirinä.

Energia pikseliä kohden: kertaluokan ero

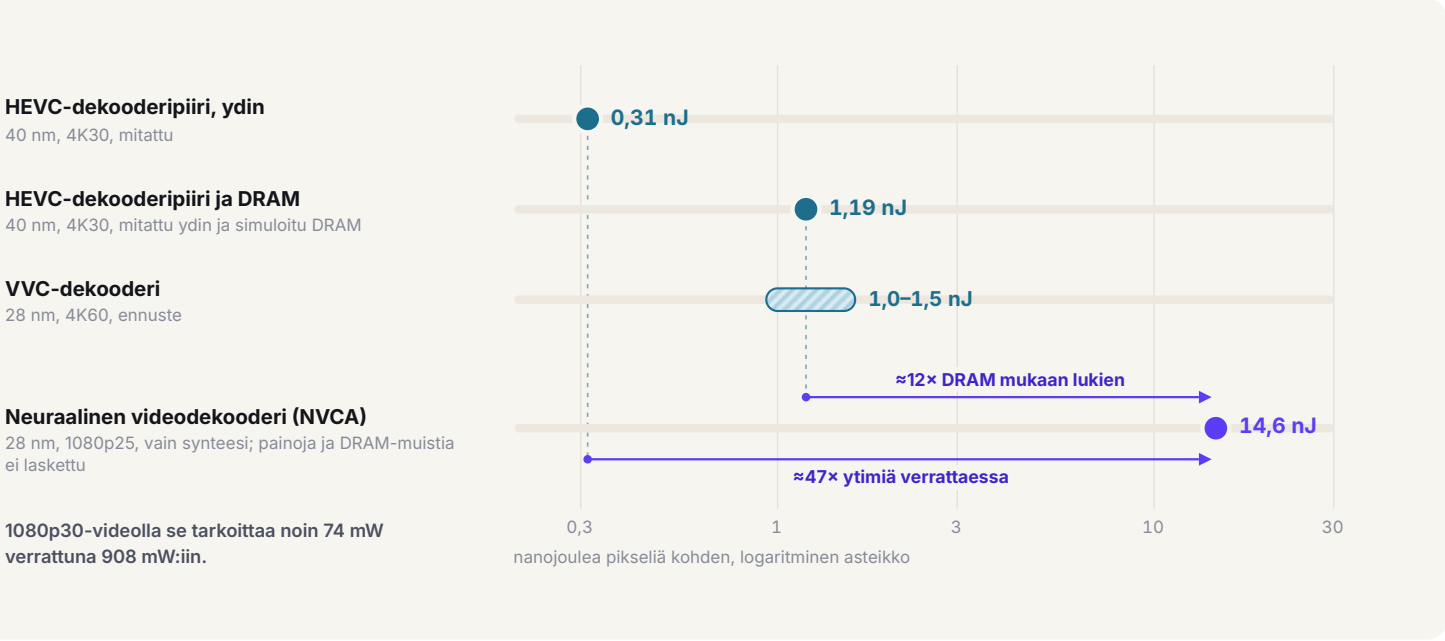
Harva neuraalinen dekooderi on suunniteltu piiriksi, joten vertailu nojaa kouralliseen julkaistuja suunnitelmia. Klassisen puolen vertailukohta on MIT:n HEVC-dekooderipiiri (Tikekar ym., ISSCC 2013 ja IEEE JSSC 2014): 40

nm, 1,77 mm², dekoodaa 4K-videota 30 kuvaa sekunnissa 200 MHz:n kellotaajuudella. Sen ydin kuluttaa 78 mW eli 0,31 nJ pikseliä kohden; kun mukaan lasketaan simuloitu DRAM-teho, järjestelmä tarvitsee 1,19 nJ pikseliä kohden. VVC:n tuotantopiirien luvut eivät ole julkisia; Electronic Designissa vuonna 2026 julkaistu analyysi, joka skaalaa MIT:n piirin 28 nm:iin ja ottaa huomioon VVC:n suuremman kompleksisuuden, ennustaa noin miljoonan portin 4K60-dekooderille 1–1,5 nJ pikseliä kohden.

Neuraalisella puolella ainoa julkaistu neuraalisen päästä päähän -videodekooderin ASIC-suunnitelma Electronic Designin laskujen mukaan on NVCA (Zhang ym., DATE 2024), joka on syntetisoitu TSMC:n 28 nm:n prosessiin ja jossa on 5,01 miljoonaa porttia, kun piirin ulkopuolella sijaitsevia painoja ei lasketa. Se dekoodaa 1080p-videota 25 kuvaa sekunnissa 760 mW:n teholla eli 14,6 nJ pikseliä kohden.

KUVIO 06 **Energia dekoodattua pikseliä kohden: kiinteätoimiset dekooderit ovat kertaluokan edellä**

Ainoa julkaistu neuraalisen videodekooderin piirisuunnitelma tarvitsee pikseliä kohden noin 12 kertaa enemmän energiaa kuin mitattu HEVC-dekooderipiiri DRAM-muisteineen ja noin 47 kertaa enemmän kuin pelkkä sen ydin. Neuraalisen suunnitelman omaa paino- ja DRAM-liikennettä ei ole laskettu mukaan.



Lähde: Tikekar ym., IEEE JSSC 2014 (MIT); NVCA, Zhang ym., DATE 2024 (arXiv 2312.10716); VVC-väli on Electronic Designin ennuste (2026). HEVC-piiri on valmistettu vanhemmalla prosessilla (40 nm vs. 28 nm), mikä suosii neuraalista suunnitelmaa.

Se on noin 12 kertaa niin paljon kuin HEVC-piiri DRAM-muisteineen ja noin 47 kertaa niin paljon kuin pelkkä sen ydin. Vertailu suosii NVCA:ta kolmella tavalla: HEVC-piiri on valmistettu vanhemmalla prosessilla, NVCA:n luvusta puuttuu sen paino- ja DRAM-liikenne, ja NVCA on synteesitulos eikä mitattu piiri. 1080p30-videolla ero on noin 74 mW vastaan noin 900 mW: toista dekooderia kukaan ei huomaa, toinen näkyy puhelimen akussa ja lämpöbudjetissa.

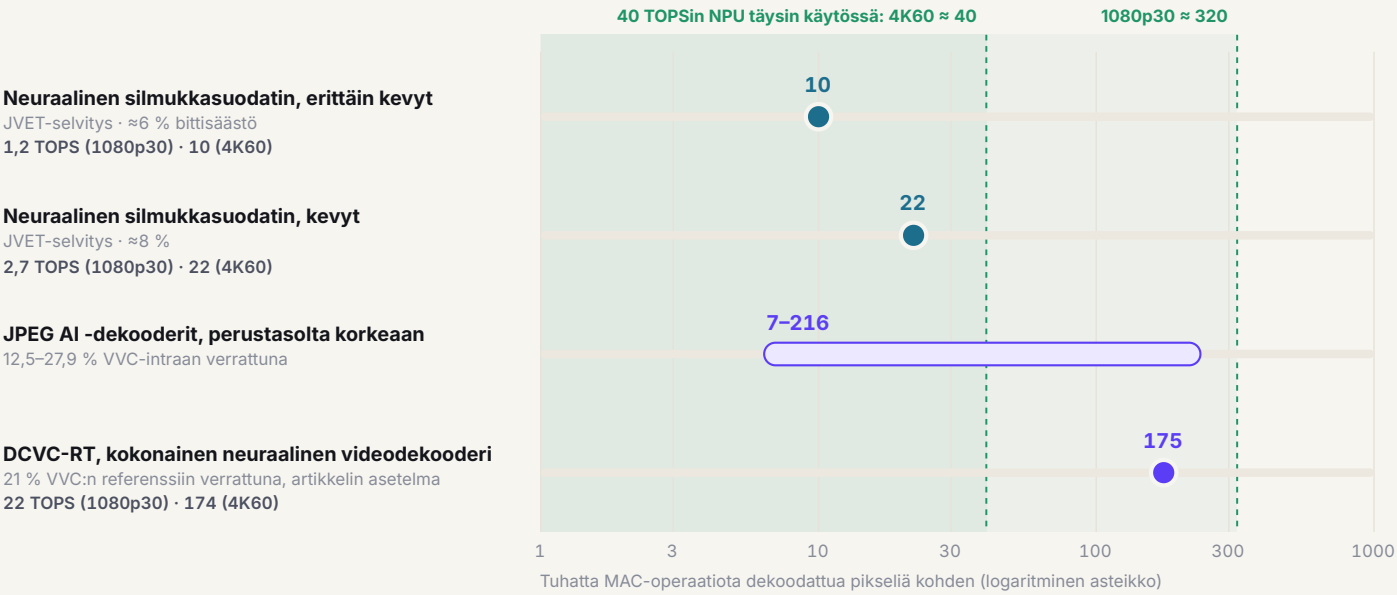
Laskenta pikseliä kohden: mitä neuraalinen dekooderi vaatii NPU:lta

Nopein löytämäni julkaistu neuraalinen videokoodekki on Microsoft Researchin DCVC-RT (Jia ym., CVPR 2025). Se koodaa ja dekoodaa 1080p-videota nopeudella 125 ja 113 kuvaa sekunnissa NVIDIA A100 -GPU:lla ja säästää samalla artikkelin testiasetelmassa 21 % bittinopeutta VVC:n referenssikooderiin verrattuna, ja se käyttää kokonaislukuaritmetiikkaa, jotta eri laitteet dekoodaavat yhdenmukaisesti. Sen lisämateriaalissa luetellaan kunkin moduulin kompleksisuus. Kun lasken yhteen neljä moduulia, jotka dekooderin on ajettava (dekooderi, piirreirrotin, entropiamalli ja rekonstruktio), saan noin 175 tuhatta MAC-operaatiota dekoodattua pikseliä kohden arvio.

1080p30-videolla se tarkoittaa noin 11 biljoonaa MAC-operaatiota sekunnissa eli noin 22 TOPS, kun yksi MAC lasketaan kahdeksi operaatioksi, ennen käyttöasteen menetyksiä; 4K60 vaatii kahdeksan kertaa enemmän arvio. Mittakaavaksi: Microsoft määrittelee tekoäly-PC:nsä vähintään 40 TOPSin NPU:lla, ja Apple ilmoittaa M4:n Neural Enginen tehoksi 38 TOPS. Ne ovat huippulukemia, ja laite käyttää samaa kapasiteettia kaikkeen muuhunkin, mitä se tekee.

KUVIO 07 **Neuraalinen työkalu vie pikseliä kohden kymmeniätuhansia MAC-operaatioita, kokonainen neuraalinen dekooderi satojatuhansia**

Dekooderin MAC-operaatiot pikseliä kohden logaritmisella asteikolla verrattuna siihen, mihin täysin kuormitettu 40 TOPSin NPU riittäisi 4K60- ja 1080p30-videolla. Hyödyt on mitattu eri vertailukohtiin nähden, eivätkä ne ole suoraan vertailukelpoisia.



Lähde: JVET SC 29:n puheenjohtajan kautta (huhtikuu 2026); JPEG-komitea (2024); DCVC-RT, CVPR 2025:n lisämateriaali, kirjoittajan summa dekooderin moduuleista; Microsoftin Copilot+ PC -määritelmä. Kirjoittajan laskelma: yksi MAC = kaksi operaatiota, täysi käyttöaste.

Kuvion 7 portaikko on hyödyllinen tapa hahmottaa alaa. Neuraaliset työkalut, jotka vievät kymmeniätuhansia MAC-operaatioita pikseliä kohden, kuten JVET:n silmukkasuodattimet (noin 6 %:n säästö 10 tuhannella, 8 % 22 tuhannella), ovat uskottavia tulevan standardidekooderin sisällä. JPEG AI kattaa koko välin: 7–216 tuhatta MAC-operaatiota pikseliä kohden 12,5–27,9 %:n hyödyllä VVC-intraan verrattuna. Kokonainen neuraalinen videodekooderi, joka vie pari sataa tuhatta MAC-operaatiota pikseliä kohden, kuuluu NPU:lle, vaatimattomalle resoluutiolle ja suljettuun järjestelmään. Juuri siinä MLVC on: 540p30, enintään puolet NPU:sta.

Muistiliikenne, ei MAC-operaatiot, on usein todellinen raja

DCVC-RT:n tekijät havaitsivat, että nopeutta ei rajoittanut aritmetiikka vaan ”operatiivinen kustannus”: muistin luku ja kirjoitus sekä funktiokutsujen määrä. He poistivat erilliset liikemoduulit ja moniskaalaisen käsittelyn pitkälti tästä syystä. NVCA:n suunnittelijat rakensivat erityisen datavuon vähentääkseen liike- ja residuaalipiirteiden aiheuttamaa piirin ulkoista muistiliikennettä. Piirisuunnittelija tunnistaa kaavan. MIT:n HEVC-piirissä DRAM vie noin kolme neljäsosaa järjestelmän energiasta (0,88 nJ pikseliä kohden 1,19 nJ:sta) senkin jälkeen, kun välimuisti pienensi DRAM-kaistanleveyttä 67 % analyysi. Neuraalinen dekooderi, joka säilyttää suuria monikanavaisia piirrekarttoja kuvasta toiseen, pahentaa muistiongelmaa eikä helpota sitä.

Täsmällisyys: jokaisen dekooderin on laskettava samat bitit

Entropiakoodaus toimii vain, jos dekooderin todennäköisyysmalli vastaa kooderin mallia täsmälleen. Klassisessa koodekissa malli on taulukko tai pieni joukko kokonaislukusääntöjä. Neuraalikoodekissa se on neuroverkko, ja kahden laitteen välinen liukulukuero, joka johtuu eri laskentarutiinista, eri summausjärjestyksestä tai eri NPU:sta, voi saada dekooderin lukemaan väärät symbolit ja kadottamaan virran siitä kohdasta eteenpäin.

Jokainen, joka on tuonut neuraalikoodekin tuotteeseen tai standardoinut sellaisen, on joutunut ratkaisemaan tämän insinöörityöllä. DCVC-RT muuntaa mallinsa kokonaisluvuiksi, jotta koodaus on yhdenmukaista eri laitteilla. MLVC käyttää jaetun skaalan hyperprioriin perustuvaa rakennetta kestääkseen alustojen väliset erot, mikä on todennäköisesti osa syytä siihen, että se menettää pakkaustehoa DCVC-RT:hen verrattuna analyysi. JVET:n neuroverkkoselvitys ajaa jokaisen neuroverkon SADL:n kautta; se on pieni kirjasto, jossa päättely tehdään 16-bittisillä kokonaisluvuilla. JPEG AI määrittelee yhdenmukaisuuspisteet latentti-, residuaali- ja pikselialueilla. Piiritiimille tämä on samaa kurinalaisuutta kuin HEVC:n kokonaislukumuunnokset: standardin on määriteltävä aritmetiikka täsmälleen, mikä rajoittaa neuroverkon rakennetta ja sulkee pois valmistajakohtaiset oikotiet.

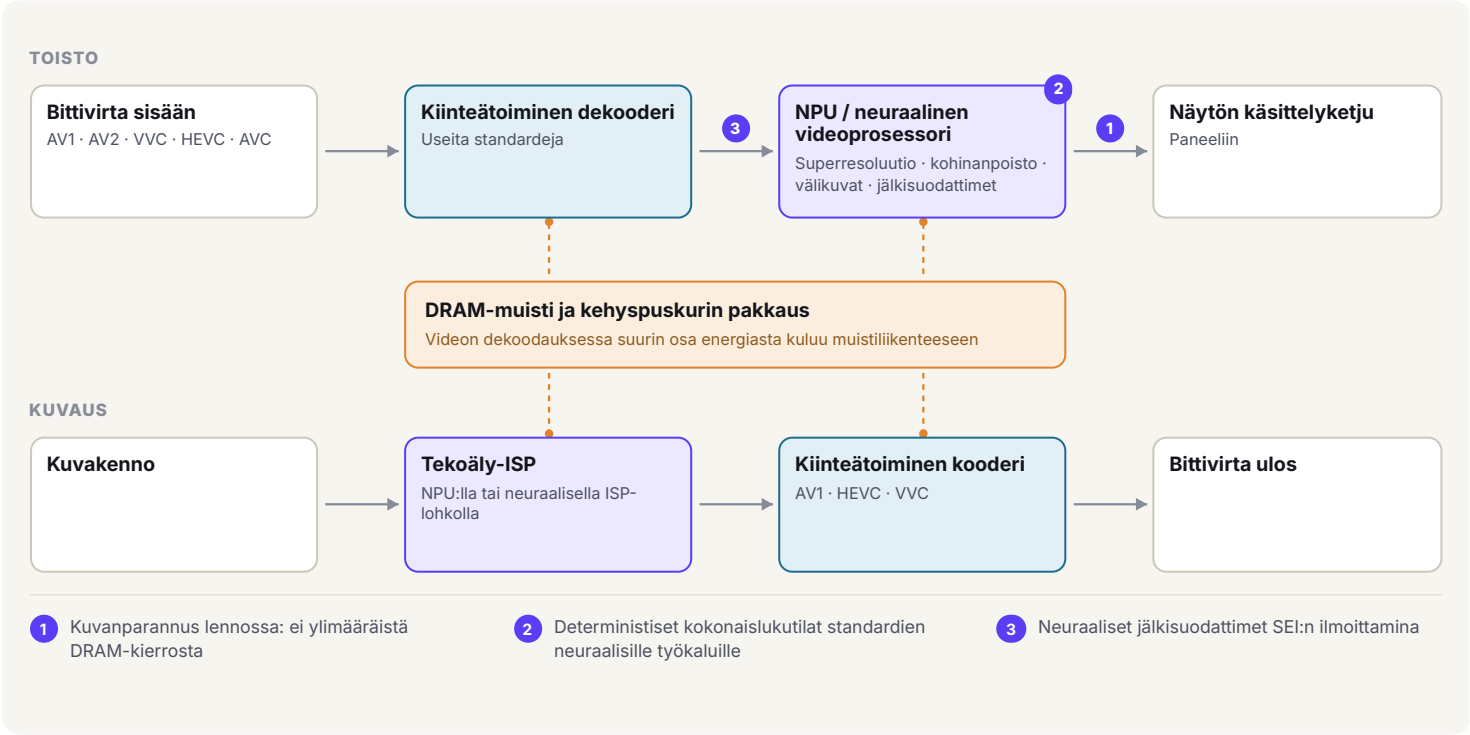
Pinta-ala ei ole este; verifiointi ja elinkaari ovat

NVCA:n 5 miljoonaa porttia näyttää paljolta verrattuna ennustetun VVC-dekooderin noin miljoonaan, mutta nykyaikaisessa puhelimen tai television SoC:ssä, jossa on jo usean TOPSin NPU, muutama miljoona porttia ei ratkaise suunnittelua. Todellista rahaa maksavat verifiointi yhdenmukaisuustestisarjaa vastaan, ohjelmoitavan dekooderin pitäminen oikein toimivana ohjelmistopäivitysten yli koko laitteen elinkaaren ajan sekä teho 4K60 HDR -videolla. Nämä kustannukset ovat järkeviä vasta, kun standardi kiinnittää, mitä on rakennettava.

Arkkitehtuuri, joka voittaa nyt: kiinteätoiminen koodekki ja NPU

KUVIO 08 **Tuotteissa käytetty työnjako: kiinteätoiminen laitteisto bittivirralle, neuroprosessori pikseleille**

Vuoden 2026 media-SoC. Koodekkilohko dekoodaa jokaisen standardin murto-osalla nanojoulesta pikseliä kohden; NPU tekee sen, missä neuroverkot ovat hyviä ja mitä standardit eivät rajoita. Ratkaiseva kustannus on DRAM-liikenne.



Lähde: Kirjoittajan näkemys arkkitehtuurista; pohjana Tencentin (Canghai V2), Chips&Median, Allegro DVT:n ja Samsungin tuotetiedot (2026).

Vuonna 2026 myyvät piirit yhdistävät kiinteätoimisen, useita standardeja tukevan koodekin ja sen rinnalla toimivan neuroprosessorin. Koodekkilohko käsittelee AV1:n, AV2:n, VVC:n, HEVC:n ja AVC:n murto-osalla nanojoulesta pikseliä kohden. Neuroprosessori hoitaa sen, missä neuroverkot ovat hyviä ja mitä standardit eivät rajoita: kuvauksessa kohinanpoiston ja ISP:n, näytöllä superresoluution, välikuvien interpoloinnin ja kuvanparannuksen. Ne jakavat kehyspuskurin pakkauksen ja DRAM-aikataulun, koska muistiliikenne on ratkaiseva kustannus.

Markkinat näyttävät työnjaon. Tencentin vuodesta 2019 itse kehittämän videokoodekki-ASICin Canghain (沧海) ensimmäisen sukupolven piirejä on käytössä yli 100 000 Tencent Cloudissa sekä yhtiön omissa live-, tilausvideo- ja pilvipelipalveluissa; toinen sukupolvi, joka julkistettiin toukokuussa 2026, kun piiri oli käynnistetty ja siirtymässä volyymituotantoon vuoden jälkipuoliskon käyttöönottoa varten, tukee H.265:tä ja H.266:ta yhdessä arkkitehtuurissa, pakkaa yli 10 % ja 30 % edeltäjäänsä paremmin, tarjoaa noin kaksinkertaisen läpäisykyvyn ja sisältää piirillä toteutetun kuvanparannuksen, kuten superresoluution. Chips&Media myy koodekki-IP:tä ja videoon suuntautunutta NPU:ta, WAVE-N:ää, rinnakkain. Allegro DVT myy AV2-dekoodereita ja on lisännyt valikoimaansa ensimmäisen neuraalisen videonkäsittelyn IP:nsä. Samsungin televisioprosessorit yhdistävät standardidekooderit satoihin skaalausneuroverkkoihin.

Mitä rakentaisin, rooleittain

SoC- ja TV-piiritiimit. Säilytä kiinteätoimiset dekooderit jokaiselle standardille, joka on pystyttävä toistamaan, mukaan lukien AV2 nyt ja VVC siellä, missä lähetykset sitä edellyttävät. Mitoita NPU jälkikäsittelyyn näytön resoluutiolla ja kuvataajuudella, ja suunnittele polku dekooderilta NPU:lle ja näytölle niin, ettei kuvanparannus lisää kierrosta DRAM-muistin kautta. Tue neuraalisen jälkisuodattimen SEI-viestejä. Tarjoa NPU:ssa deterministiset kokonaislukutilat. Pidä H.267:ää suunnitteluhankkeena, joka alkaa vuonna 2029 tai myöhemmin, ja säilytä jonkin verran ohjelmoitavuutta sen neuraalisille työkaluille.

IP-toimittajat. Myy AV2- ja VVC-dekoodereita nyt sekä osia, joita neuraalinen käsittely tarvitsee niiden ympärille: jälkisuodatinkiihdyttimiä, kehyspuskurin pakkausta ja yhdenmukaisuustyökaluja.

Videoalustat. Neuraalinen esikäsittely kooderilla maksaa itsensä takaisin ensimmäisenä, koska se ajetaan kerran nimikettä kohden eikä se vaadi laitteilta mitään. Käytä asiakaspään superresoluutiota siellä, missä laitteet sen sallivat. Varaa päästä päähän -neuraalikoodekit suljetuille järjestelmille, joita hallitset itse.

LUKU 09

STANDARDIT JA PATENTIT

09 Standardit ja patentit: missä neuraalisista työkaluista tulee lisensoitavia

Standardien kehitysputki

Standardi	Elin	Neuraalinen sisältö	Tilanne marraskuussa 2026
H.267 (työnimi; VVC:n jälkeinen)	JVET (ITU-T ja ISO/IEC)	Avoin. Sekä klassiset työkalut (ECM) että neuraaliset työkalut (silmukkasuodattimet, intraennustus, superresoluutio) ovat ehdokkaita	Ehdotuspyyntö heinäkuussa 2026; vastaukset arvioidaan tammikuussa 2027; ensimmäinen testimalli vuoden 2027 jälkipuoliskolla; versio 1 vuoden 2029 lopussa
VVC ja HEVC sekä VSEI	JVET	Neuraalinen jälkisuodatin voidaan kuvata SEI-metadatassa; sen käyttö on dekooderille valinnaista	Voimassa; viestejä laajennettiin lokakuun 2025 painoksissa
AV2	AOMedia	Klassiset työkalut, rojaltivapaa	Versio 1.0.0 valmistui 28. toukokuuta 2026; dekooderi-IP:tä lisensoitu kesäkuusta 2026 alkaen; YouTuben verkkosuoratoisto suunniteltu alkuvuodelle 2027
JPEG AI	JPEG (ISO/IEC ja ITU-T)	Päästä päähän opittu kuvakoodekki ihmisten ja konenäön käyttöön	Osa 1 julkaistu 2025; toinen versio keskusteltavana; tuotteista ei löytynyt oletustukea
IEEE 1857.11	IEEE	NPU:ille suunniteltu neuroverkkopohjainen kuvankoodaus	Julkaistu joulukuussa 2024
Video Coding for Machines	MPEG	Koodaus koneiden analyysia eikä katselua varten	Kansainvälisen standardin luonnos alkuvuonna 2026; lopullinen versio suunniteltu loppuvuodelle 2026
Opuksen ML-laajennukset	IETF	Valinnainen syvä redundanssi, dekooderipuolen laadunparannus, kaistanlaajennus	libopus 1.5:ssä ja 1.6:ssa; syvää redundanssia standardoidaan

Kaksi asiaa erottuu. Ensinnäkin neuraalinen sisältö tulee standardeihin reunoilta ennen ydintä: valinnaisina jälkisuodattimina, valinnaisena laadunparannuksena ja kuvankoodauksena, jotka kaikki jättävät päädekoodauspolun ennalleen. Toiseksi ainoa standardi, joka voisi tuoda neuraaliset työkalut jokaisen näytön dekoodauspolkuun, H.267, on kolmen vuoden päässä ensimmäisestä versiostaan.

Kuka on asemoitunut patenteissa

Standardin työkaluista tulee lisensoitavia patentteja, joten H.267-prosessi on myös patenttikilpajuoksu, ja neuraaliset työkalut ovat osa sitä. GreyB:n vuoden 2025 kartoitus 3 916 VVC:n jälkeisestä patentista asettaa kärkeen ByteDancen, jolla on 645 patenttiperhettä ja 251 JVET-kontribuutiota, ja nostaa esiin yliopistojen ja

teollisuuden kumppanuuksia, kuten Xiaomin ja Xidianin yliopiston yhteistyön, jolla on yli 20 patenttiperhettä. MLex raportoi maaliskuussa 2026, että Tencent, Alibaba ja ByteDance ovat nousemassa aktiivisiksi osallistujiksi videokoodekkien patenttipooleissa. Toukokuussa 2026 Sauvegarder Investment Management osti Alibabalta 126 videokoodekkien patenttiomaisuuserää, jotka kattavat AV1:n, AV2:n ja Video Coding for Machinesin. InterDigitalin lokakuussa 2025 tekemä Deep Renderin osto lisäsi Deep Renderin tekoälyvideokoodauksen patentit sen portfolioon.

Laitekohtainen raha näkyy helposti poolien hinnastoista. Access Advancen VVC-maksut (tilanne 1. heinäkuuta 2026; koskee sopimusehtoja noudattavia ja yhtiön tavaramerkkiä käyttäviä lisenssinsaajia) ovat 0,50 dollaria matkapuhelimelta, tabletilta tai kannettavalta tietokoneelta Region 1 -markkinoilla, kuten Yhdysvalloissa, EU:ssa ja Japanissa, ja 0,25 dollaria Region 2 -markkinoilla; 4K-televisioista 1,00–1,50 dollaria hinnan mukaan Region 1 -markkinoilla; ja yrityskohtainen vuosikatto on 75 miljoonaa dollaria. AOMedian jäsenet eivät peri AV1:stä ja AV2:sta rojalteja. Mitä tahansa H.267 sisältääkään, sen työkalut hinnoitellaan samalla tavalla, ja siksi neuraalisen koodauksen patentteja omistavat yritykset osallistuvat JVET:n työhön nyt analyysi.

LUKU 10

10 KUKA ANSAITSEE
Kuka ansaitsee ja missä yritys voi toimia

Raha vuonna 2026

KUVIO 09 **Kuka ansaitsee neuraalisella koodauksella vuonna 2026**

Raha seuraa standardeja ja alustoja. En löytänyt yhtään itsenäistä yritystä, joka saisi elantonsa lisensoimalla neuraalista päästä päähän -videokoodekkia.

ANSAITSEVAT NYT

Alustat

Pitävät säästöt itsellään

Netflixin neuraalinen alasskaalain; YouTuben ja Metan superresoluutio; Microsoft avasi MLVC:n lähdekoodin MIT-lisenssillä

ANSAITSEVAT NYT

Laite- ja piirivalmistajat

Myyvät erottautumista

Kameroiden ISP:t; televisioiden skaalausprosessorit; Tencentin omat Canghai-koodekkipiirit

ANSAITSEVAT NYT

IP-toimittajat

Lisensoivat jokaisen uuden standardin

AV2-dekoodaamiasiakkaita Chips&Medialla, Allegro DVT:llä ja VeriSiliconilla kolmen viikon kuluessa määrittelystä

ANSAITSEVAT NYT

GPU-valmistajat

Sitovat asiakkaat alustaansa

DLSS 4 yli 250 pelissä ja sovelluksessa; neuraalisen tekstuuripakkauksen SDK beta-vaiheessa

LAITEKOHTAISESTI

Patentinhaltijat ja poolit

Laskuttavat laitekohtaisesti

VVC: 0,50 dollaria puhelimelta, 1,00–1,50 dollaria 4K-televisiolta; H.267:n työkalut vuoden 2029 jälkeen

EXIT YRITYSOSTONA

Neuraalikoodekkien startup-yritykset

Ostettiin

WaveOne → Apple (2023); iSIZE → Sony (2023); Deep Render → InterDigital (2025)

Lähde: Raportissa viitatut yritysten ja patenttipoolien julkistamat tiedot; tilanne 12. marraskuuta 2026. Poolimaksut: Access Advance, VVC, Region 1, ehdot täyttävä ja tavaramerkkiä käyttävä lisenssinsaaja, tilanne 1. heinäkuuta 2026.

Alustat pitävät säästöt itsellään. Netflix, YouTube, Meta, Microsoft ja Tencent rakentavat neuraalisen käsittelyn itse ja pitävät hyödyn pienempänä kaistantarpeena, pienempänä tallennustilan tarpeena ja parempana laatuna

bittiä kohden. Kun se edistää käyttöönottoa, ne antavat koodin vapaasti käyttöön: Microsoft julkaisi MLVC:n MIT-lisenssillä.

Laite- ja piirivalmistajat myyvät erottautumista. Kameroiden ISP:t ja televisioiden kuvaprosessorit ovat paikkoja, joissa neuroverkot koskettavat jokaista käyttäjää, ja niitä myydään ominaisuuksina: Qualcommin Cognitive ISP, Samsungin skaalausprosessorit.

IP-toimittajat myyvät dekoodereita jokaiseen uuteen standardiin sekä NPU:ita. Kolmen viikon kuluessa AV2:n määrittelystä Chips&Media, Allegro DVT ja VeriSilicon ilmoittivat kaikki AV2-dekooderiasiakkaista. Samat toimittajat myyvät nyt neuraalisen käsittelyn lohkoja koodekkien rinnalla.

GPU-valmistajat rakentavat alustoja. DLSS ja neuraalinen tekstuuripakkaus tekevät NVIDIAn tensorilaitteistosta osan siitä, miten pelejä tehdään.

Patentinhaltijat laskuttavat laitekohtaisesti VVC:n ja HEVC:n poolien kautta ja vuoden 2029 jälkeen H.267:n kautta.

Neuraalikoodekkien startup-yritykset on ostettu. WaveOne siirtyi Applelle vuonna 2023, iSIZE Sony Interactive Entertainmentille vuonna 2023 ja Deep Render InterDigitalille vuonna 2025, kaikki julkistamattomin ehdoin. Joka kerta alusta tai lisenssinantaja osti tiimin ja patentit. En löytänyt vuonna 2026 yhtään itsenäistä yritystä, joka saisi elantonsa lisensoimalla neuraalista päästä päähän -videokoodekkia.

Missä yritys voi toimia

Mahdollisuus	Kuka ostaa	Miksi nyt	Suurin riski
Neuraalinen esikäsittely kooderilla (alasskaalaus, kohinanpoisto, nimikekohtainen viritys)	Suoratoisto- ja käyttäjävideoalustat, televisioyhtiöt	Laitemuutoksia ei tarvita; todistettu Netflixillä	Suuret alustat rakentavat sen itse
Näyttöpään kuvanparannus-IP ja viritys (superresoluutio, välikuvien interpolointi, kuvanlaatu)	Television, digiboksien ja puhelinten piirivalmistajat	NPU:t ovat jo laitteissa; näkyvä erottautuminen	Hyödykkeistyminen; piirivalmistajien omat tiimit
Suljettujen järjestelmien neuraalikoodekit (videoneuvottelut, etäoperointi, yksityiset yhteydet)	Yritysviestinnän, teollisuuden ja etäläsnäolon toimittajat	MLVC todistaa toteutettavuuden, ja sen koodi on avointa	Molempia päitä on hallittava; NPU-pirstaloituminen
Koodekki ja NPU piirinä tai IP:nä (AV2, VVC ja jälkikäsittely)	SoC-valmistajat	AV2-sykli on alkamassa	Vahvat vakiintuneet toimijat
Arviointi-, yhdenmukaisuus- ja deterministisen päättelyn työkalut	Kaikki neuraalisia työkaluja toimittavat	Bittitarkkuus on ehdoton vaatimus	Pienet markkinat, ellei osana pakettia
Standardiehdotukset H.267:ään	Lisenssinantajat, suuret alustat	Vastaukset arvioidaan tammikuussa 2027	Pitkä, kallis, epävarma

Useimmille yrityksille kaksi ensimmäistä riviä ovat ne, joista tuloja on saatavissa vuonna 2027. Kolmas on kiinnostavin keskittyneelle tuoteyritykselle. Viimeinen vaatii kärsivällisyyttä ja lisensointistrategian.

LUKU 11

11 VÄITTEET JA NÄYTTÖ

Väitteet, joita kuulet, ja mitä näyttö sanoo

Väite	Mitä näyttö sanoo
"Neuraalikoodekit päihittävät jo VVC:n."	Laboratoriossa kyllä. DCVC-RT säästää artikkelinsa asetelmassa 21 % VVC:n referenssikooderiin verrattuna 1080p-resoluutiolla; JPEG AI säästää 12,5–27,9 % VVC-intraan verrattuna. Dekooderi vie noin 175 tuhatta MAC-operaatiota pikseliä kohden eli NPU:n verran energiaa, kun kiinteätoiminen laitteisto selviää murto-osalla nanojoulesta.
"Tekoälykoodekit korvaavat H.26x:n ja AV1:n muutamassa vuodessa."	Eivät toistossa. Ensimmäinen standardi, joka voi tuoda neuraalisia työkaluja, tähtää vuoden 2029 loppuun, piirit seuraavat noin 2031 ja valtavirtakäyttö 2030-luvun puolivälissä arvio. Nyt saapuva koodekki, AV2, on klassinen.
"MLVC leikkaa kaistantarvetta 88 %."	H.264:ään verrattuna 360p-resoluutiolla Microsoftin omalla testiaineistolla. Laitteisto-HEVC:hen verrattuna luku on 75,5 % 360p-resoluutiolla ja 65,4 % 540p-resoluutiolla puheluissa, joissa Microsoft hallitsee molempia päitä.
"Neuraaliset tekstuurit vähentävät videomuistia 85–96 %."	Esittelykohtauksissa. Julkaistu peli sai noin 30 %:n tehollisen pakkaushyödyn ja käytti neuraalisia tekstuureita ajonaikaisen kustannuksen vuoksi vain valituissa resursseissa.
"JPEG AI on ISO-standardi, joten kamerat ja selaimet omaksuvat sen."	En löytänyt tuotteista oletustukea. Verkon vuonna 2026 käyttöön ottama formaatti, JPEG XL Chrome 155:ssä, on klassinen.
"Neuraalinen dekoodaus on liian kallista puhelimille."	Osittain totta. MLVC dekoodaa 540p30-videota puolella NPU:sta; 4K60-video DCVC-RT-luokan mallilla vaatisi noin 175 TOPS jatkuvaa laskentatehoa arvio.
"Satelliitti- ja drooniyhteydet ovat neuraalisen videon suuret markkinat."	Teknisesti paras sopivuus, mutta pienet markkinat, ja vientivalvonta kiristyy Tyynenmeren molemmin puolin.
"Suuret alustat lisensoivat neuraalikoodekin startup-yritykseltä."	Ne rakensivat omansa (Netflix, Microsoft, Tencent) tai ostivat startup-yrityksen (Apple, Sony, InterDigital).

Yksinkertainen testi paljastaa useimmat myyntipuheet: kysy vertailukohta, mittari, resoluutio ja dekoodauksen kustannus. Väite, joka ei pysty kertomaan kaikkia neljää, on tutkimustulos eikä tuote.

LUKU 12

12

TIENVIITAT

Mitä seurata vuosina 2027–2030

Milloin	Tienviitta	Miksi sillä on merkitystä
Tammikuu 2027	JVET arvioi H.267-vastaukset Brisbanessa	Kuinka moni parhaista vastauksista nojaa neuraalisiin työkaluihin ja millä kustannuksella pikseliä kohden
Alkuvuosi 2027	YouTuben ensimmäiset AV2-verkkosuoratoistot; AV2-dekooderit julkistetuissa SoC-piireissä	Seuraava klassinen sykli asettaa laitteiden budjetit noin vuoteen 2030 asti
Vuoden 2027 jälkipuolisko	H.267:n ensimmäinen testimalli	Ovatko neuraaliset työkalut ydinrakenteessa vai vain selvitysvaiheessa
2027	MLVC Teamsin vertaisyhteyspuheluiden ulkopuolella; muut valmistajat ottavat avoimen koodin käyttöön	Ensimmäinen testi avoimelle neuraalikoodekille omistajansa ulkopuolella
2027–2028	Ensimmäinen tuote, joka kirjoittaa tai lukee JPEG AI -kuvia oletuksena	Ensimmäinen neuraalinen formaatti, jota käytetään yritysrajojen yli
2027–2028	DirectX Linear Algebra julkaistuissa ajureissa; neuraaliset tekstuurit useammissa peleissä ja mobiilissa	Valmistajariippumaton neuraalinen dekoodaus grafiikassa
Jatkuvasti	NPU-budjetit puhelimissa ja PC:issä	Noin 100 TOPSin jatkuvalla teholla DCVC-RT-luokan 1080p30-dekooderi veisi noin viidenneksen NPU:sta puolikkaan sijaan analyysi
Vuoden 2029 loppu	H.267:n versio 1	Piirisyklin alku neuraalisille työkaluille valtavirran toistossa

LUKU 13

13 AVOIMET KYSYMYKSET

Avoimet kysymykset

Useaan tämän raportin kysymykseen ei ole vielä julkista vastausta, ja ne ovat mielestäni teknisesti kiinnostavimpia.

Täsmällisyys mittakaavassa. Kuinka lähelle bittitarkkaa, pelkkiä kokonaislukuja käyttävää aritmetiikkaa neuraalinen dekooderi pääsee eri valmistajien NPU:illa ennen kuin se menettää suurimman osan pakkausedustaan? MLVC:n kuuden prosenttiyksikön vaihtokauppa on yksi datapiste; standardi tarvitsee yleisen vastauksen.

Muisti ennen MAC-operaatioita. Mitä neuraalinen jälkikäsittely maksaa DRAM-liikenteenä pikseliä kohden, kun se ajetaan lennossa laitteistodekooderin ja näytön välissä, ja kuinka pieneksi sen työmuisti voidaan saada?

Neuraalisen työkalun hinta H.267:ssä. Millä MAC-operaatioiden ja nanojoulejen määrällä pikseliä kohden neuraalinen silmukkasuodatin lakkaa maksamasta säästämiään bittejä takaisin 4K60-dekooderissa?

Suljetut järjestelmät puheluiden lisäksi. Mitkä muut suljetut järjestelmät pilvikuvatallennuksesta ja pelien suoratoistosta robotteihin ja yksityisiin syöttöyhteyksiin voivat ottaa päästä päähän -neuraalikoodekit käyttöön ennen H.267:ää?

Generoivat dekooderit. Kun dekooderi generoi yksityiskohtia eikä rekonstruoi niitä, kuten video-VAE:t jo tekevät, miten vastaavuutta alkuperäiseen pitäisi mitata ja määritellä?

Näitä alueita voimme tutkia yhdessä tulevina vuosina teknisen tiedonvaihdon ja teknisen yhteistyön kautta: i@tanshuai.com.

Raportin rajoitukset

Tämä on pöytätutkimus, joka perustuu 12. marraskuuta 2026 mennessä julkaistuihin asiakirjoihin. En tehnyt tätä versiota varten haastatteluja enkä riippumattomia mittauksia. Useat keskeiset luvut ovat valmistajien tai tekijöiden väitteitä heidän omilla testiaineistoillaan, kuten MLVC:n bittinopeussäästöt ja neuraalisen tekstuuripakkauksen pakkaussuhteet; ne on merkitty sellaisiksi. DCVC-RT:tä koskevat laskenta-arvioni laskevat yhteen sen tekijöiden julkaisemat moduulikohtaiset luvut eivätkä huomioi käyttöasteen menetyksiä, joten todellinen NPU-kuorma on suurempi. Energiavertailu nojaa muutamaan julkaistuun suunnitelmaan eri valmistusprosesseilla; tuotannossa olevien VVC- ja AV2-dekoodereiden luvut eivät ole julkisia. Standardien aikataulut ovat komiteoiden omia tavoitteita. Vuoden 2029 jälkeiset H.267-ajankohdat ovat omia arvioitani AV1:n ja VVC:n historian perusteella.

Kirjoittajasta

Tan Shuai on teknologi ja perustaja, jolla on takanaan yli kaksikymmentä vuotta työtä piirien, laitteistojen ja järjestelmäohjelmistojen parissa sekä 20 myönnettyä patenttia. Hänellä on monen vuoden kokemus fabless-piirien tutkimus- ja kehitystyöstä ja sen johtamisesta, mukaan lukien ASIC-datapolkujen full custom -suunnittelu ja multimedian kamerapiiriprojektit, kuten videokoodekkikiihdyttimet, ja juuri se on tämän raportin näkökulma: energia pikseliä kohden, muistiliikenne ja se, mitä standardi antaa dekooderin kiinnittää piiriin. Työ on vienyt hänet Piilaaksoon, New Yorkiin, Chicagoon, Taiwaniin, Greater Bay Area -alueelle (Shenzhen ja Hongkong), Vietnamiin ja Malesiaan. Nykyään hän työskentelee tekoälytutkijana ja -kehittäjänä.

Teknistä keskustelua varten: i@tanshuai.com · tanshuai.com

Huomautukset ja vastuuvapauslauseke

Tämä raportti on riippumaton pöytätutkimus, joka perustuu 12. marraskuuta 2026 mennessä saatavilla olleisiin julkisiin asiakirjoihin. Se on tarkoitettu ainoastaan tiedoksi, eikä se ole sijoitus-, oikeudellista tai teknistä neuvontaa. Tuotteet, standardien aikataulut, patenttipoolien maksut ja vientisäännöt muuttuvat; tarkista kaikki, mihin luotat, alkuperäislähteestä. Merkinnöillä valmistajan väite, arvio tai analyysi varustetut luvut on luettava sellaisina. Yritysten ja tuotteiden nimet kuuluvat omistajilleen, ja niitä käytetään vain tunnistamiseen; mikään yritys ei ole tarkastanut eikä sponsoroinut tätä raporttia.

© 2026 Tan Shuai. Saat jakaa tämän raportin muuttamattomana, kun mainitset lähteen.

Lähteet

Kaikki luettu 3.–12. marraskuuta 2026. Ryhmitelty luvuittain.

Liikenne, laitteet ja rajaus

- Ericsson, *Mobility Report*, kesäkuu 2026 (video noin 75 % mobiilidataliikenteestä vuoden 2025 lopussa): https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/reports/june-2026 ; tiivistelmä: https://telecomlead.com/5g/ericsson-mobility-report-2026-global-mobile-data-traffic-to-reach-515-eb-by-2031-as-india-leads-smartphone-data-consumption-126290
- IDC, älypuhelinten maailmanlaajuiset toimitukset, Q4 ja koko vuosi 2025 (1,26 miljardia), 13. tammikuuta 2026: https://www.idc.com/resource-center/press-releases/q425mobilephonetop5/
- TrendForce, vuoden 2025 televisiotoimitusten ennuste (195,71 miljoonaa): https://iconnect007.com/article/146406/early-shipments-by-tv-brands-push-global-1h25-volume-up-2-but-raise-concerns-for-secondhalf-peak-season/146403/ein ; Omdia, vuoden 2025 televisioennuste (208,7 miljoonaa): https://iconnect007.com/article/145954/omdia-forecasts-flat-tv-shipments-in-2025-but-mini-led-poised-for-explosive-growth-at-829/145951/ein

Toisto ja suoratoisto

- Netflix Technology Blog, ”AV1 — Now Powering 30% of Netflix Streaming”, joulukuu 2025: https://netflixtechblog.com/av1-now-powering-30-of-netflix-streaming-02f592242d80
- Netflix Technology Blog, ”For your eyes only: improving Netflix video quality with neural networks”, marraskuu 2022: https://netflixtechblog.com/for-your-eyes-only-improving-netflix-video-quality-with-neural-networks-5b8d032da09c
- AOMedia, AV2 Bitstream and Decoding Process Specification v1.0.0, 28. toukokuuta 2026: https://av2.aomedia.org/v1.0.0/index.html ; ”AV2: What the Final Specification Means for Implementers”: https://aomedia.org/blog%20posts/AV2-What-the-Final-Specification-Means-for-Implementers/
- TV Technology, ”YouTube to Commence AV2 Streaming in 2027” (AV1:n osuus YouTuben katalogista): https://www.tvtechnology.com/platform/streaming/youtube-to-commence-av2-streaming-in-2027
- Google Research, ”The in-loop filtering pipeline in AV2”, 2026: https://research.google/pubs/the-in-loop-filtering-pipeline-in-av2/
- Fraunhofer IIS, ”The Future of Broadcast in Brazil” (DTV+:n kaupallinen käyttö, kesäkuu 2026): https://mpegh.com/brazil/ ; CartaCapital televisioiden vastaanottimista: https://www.cartacapital.com.br/?p=628337 ; Olhar Digital VVC:stä TV 3.0:ssa: https://olhardigital.com.br/2026/05/01/pro/em-breve-a-tv-aberta-vai-mudar-no-brasil/
- 9to5Google, ”YouTube adds AI-upscaled 'Super Resolution' for low-quality videos”, 29. lokakuuta 2025: https://9to5google.com/2025/10/29/youtube-adds-ai-upscaled-super-resolution-for-low-quality-videos/
- Meta, ”How Meta Deployed Super Resolution at Scale to Transform Video Quality”, @Scale, 16. lokakuuta 2025: https://atscaleconference.com/how-meta-deployed-super-resolution-at-scale-to-transform-video-quality/
- Samsung, 8K TV highlights (NQ8 AI Gen3, 768 neuroverkkoa): https://www.samsung.com/us/tvs/8k-tv/highlights/

Valokuvaus ja kuvat

- Qualcomm, ”Meet the Snapdragon 8 Gen 2 Super Cameras” (Cognitive ISP): https://www.qualcomm.com/news/onq/2023/07/meet-the-snapdragon-8-gen-2-super-cameras
- Chips&Media ja Visionary.ai, täysin tekoälypohjainen ISP, 5. tammikuuta 2026: https://www.edge-ai-vision.com/2026/01/chipsmedia-and-visionary-ai-unveil-the-worlds-first-ai-based-full-image-signal-processor-redefining-the-future-of-image-quality/ ; PetaPixelin haastattelu: https://petapixel.com/2026/01/18/a-look-at-the-worlds-first-full-ai-based-image-signal-processor
- JPEG-komitea, 103. kokouksen lehdistötiedote (JPEG AI:n hyödyt, kompleksisuus, älypuhelintoteutukset): https://jpeg.org/items/20240507_press.html
- G. J. Sullivan, johdanto ISO/IEC JTC 1/SC 29:ään, huhtikuu 2026 (JPEG AI:n tilanne; ECM- ja NNVC-luvut): https://www.mpeg.org/introduction-to-iso-iec-jtc-1-sc-29-coding-of-audio-picture-multimedia-and-hypermedia-information-the-world-of-jpeg-and-mpeg/
- IEEE 1857.11 -työryhmä (neuroverkkopohjainen kuvankoodaus): https://sagroups.ieee.org/fvc
- Chrome 155 ja JPEG XL, 6. lokakuuta 2026: https://xenospectrum.com/en/chrome-155-jpeg-xl-rust/

Puhelut ja kokoukset

- Microsoft, ”Satin: Microsoft's latest AI-powered audio codec for real-time communications”, 17. helmikuuta 2021: https://techcommunity.microsoft.com/t5/microsoft-teams-blog/satin-microsoft-s-latest-ai-powered-audio-codec-for-real-time/ba-p/2141382
- Microsoft, ”Announcing the Open-Source Release of ML Video Codec (MLVC)”, 24. heinäkuuta 2026: https://techcommunity.microsoft.com/blog/linuxandopensourceblog/announcing-the-open-source-release-of-ml-video-codec-mlvc/4539875 ; koodi: https://github.com/microsoft/mlvc
- Streaming Learning Center, ”Microsoft MLVC: Interoperability, Power Realities, and the Neural Compression Patent Landscape”: https://streaminglearningcenter.com/articles/microsoft_mlvc.html ; iReplayn analyysi: https://ireplayn.tv/blog/mlvc-microsoft-neural-video-codec-open-source-streaming/

- Opus 1.5:n julkaisutiedot: https://opus-codec.org/demo/opus-1.5 ; Opus 1.6: https://opus-codec.org/demo/opus-1.6
- Meta Engineering, ”MLow: Meta's low bitrate audio codec”, 13. kesäkuuta 2024: https://engineering.fb.com/2024/06/13/web/mlow-metas-low-bitrate-audio-codec/
- Microsoft, Copilot+ PC:t (NPU, 40+ TOPS): https://www.microsoft.com/en-us/windows/copilot-plus-pcs ; Apple, M4-julkistus (Neural Engine, 38 TOPS): https://www.apple.com/newsroom/2024/05/apple-introduces-m4-chip/

Generatiivinen tekoäly

- Kyutai, Mimin mallikortti (12,5 Hz, 1,1 kbps): https://huggingface.co/kyutai/mimi
- Lightricks, ”LTX-Video: Realtime Video Latent Diffusion” (video-VAE, 1:192): https://arxiv.org/abs/2501.00103
- MPEG:n 153. kokouksen lehdistötiedote (Video Coding for Machines DIS-vaiheessa): https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2026/03/press_release_153.pdf

Pelit ja grafiikka

- NVIDIA, DLSS 4:n käyttöönotto: julkaisu ja Computex 2025 (75 ja 125+): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/125-dlss-4-multi-frame-gen-games-more-announced-computex-2025/ ; Gamescom 2025 (175+): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/gamescom-2025-dlss-4-full-ray-tracing-game-announcements/ ; CES 2026 (250+, DLSS 4.5): https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/dlss-4-rtx-path-tracing-game-announcements-ces-2026/
- Ubisoft La Forge, ”Shipping Neural Texture Compression in Assassin's Creed Mirage”, helmikuu 2026: https://www.ubisoft.com/en-us/studio/laforge/news/415slmB3ZGzv8d2LhO9QT/shipping-neural-texture-compression-in-assassins-creed-mirage
- TweakTown NVIDIAn GTC 2026 -tekstuuridemosta (6,5 GB → 970 MB): https://www.tweaktown.com/news/110886/nvidias-neural-texture-compression-cuts-vram-usage-from-6-5gb-down-to-970mb/index.html
- Microsoftin DirectX-blogi, Shader Model 6.9 retail, 26. helmikuuta 2026: https://devblogs.microsoft.com/directx/shader-model-6-9-retail-and-more/ ; cooperative vectorista: https://devblogs.microsoft.com/directx/shader-model-6-9-and-the-future-of-cooperative-vector/ ; GDC 2026 -suunnitelmat: https://windowsreport.com/microsoft-showcases-neural-rendering-and-dxr-2-0-plans-for-directx-at-gdc-2026/

Erikoisyhteydet

- Global Trade Alert Kiinan ilmoituksesta nro 49/2026: https://globaltradealert.org/intervention/161396-china-government-revises-export-controls-on-drone-related-items ; DroneXL: https://dronexl.co/2026/10/19/china-drone-export-controls-motors-props-november-18/ ; Army Recognition (miehittämättömien maa-alustojen raja-arvot): https://www.armyrecognition.com/news/army-news/2026/china-tightens-drone-export-controls-raising-supply-chain-risks-for-the-us-europe-and-ukraine
- DroneLife, FCC lisää ulkomailla valmistetut droonit ja komponentit Covered List -luetteloon, 22. joulukuuta 2025: https://dronelife.com/2025/12/22/fcc-adds-foreign-made-drones-and-components-to-covered-list-citing-national-security-risks/

Piirit

- M. Tikekar ym., ”A 249-Mpixel/s HEVC Video-Decoder Chip for 4K Ultra-HD Applications”, IEEE JSSC 2014: https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/93876 ; MIT:n piirisivu (78 mW 4K30-videolla): https://eecsg.mit.edu/chips/hevc-video-decoder-for-4k-ultra-hd-applications/
- S. Zhang ym., NVCA, DATE 2024: https://arxiv.org/abs/2312.10716
- Electronic Design, ”Why Traditional VVC Will Outlive the Neural-Codec Hype on Silicon”, 2026: https://www.electronicdesign.com/home/article/55414955/why-traditional-vvc-will-outlive-the-neural-codec-hype-on-silicon
- Z. Jia ym., ”Towards Practical Real-Time Neural Video Compression” (DCVC-RT), CVPR 2025: https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025/html/Jia_Towards_Practical_Real-Time_Neural_Video_Compression_CVPR_2025_paper.html ; lisämateriaali (moduulikohtainen kompleksisuus): https://openaccess.thecvf.com/content/CVPR2025/supplemental/Jia_Towards_Practical_Real-Time_CVPR_2025_supplemental.pdf
- NNVC ja SADL-kokonaislukupäättelykirjasto: https://arxiv.org/abs/2309.05846
- Tencent Canghai V2, 27. toukokuuta 2026 (Shanghai Securities News 10jqka-palvelun kautta): https://stock.10jqka.com.cn/20260527/c677016020.shtml ; ominaisuuksien yhteenveto: https://www.besthub.dev/articles/tencent-s-canghai-v2-chip-enters-mass-production-what-the-new-capabilities-mean-for-video-encoding-bcfc18dbfa29
- Chips&Media, AV2-dekooderi-IP, 12. toukokuuta 2026: https://www.design-reuse.com/news/202530501-chips-media-completes-development-of-next-gen-av2-hw-decoder-ip/ ; AV2-lisenssi, 17. kesäkuuta 2026: https://www.edge-ai-vision.com/?p=58270
- Allegro DVT, AV2-dekooderi-IP, 16. kesäkuuta 2026: https://www.edge-ai-vision.com/2026/06/allegro-dvts-pulsar-decoder-ip-adds-support-for-av2-video-codec/
- VeriSilicon, VC9800D ja AV2, 10. kesäkuuta 2026: https://www.businesswirechina.com/en/news/63176.html

Standardit ja patentit

- MPEG:n 155. kokouksen lehdistötiedote (yhteinen ehdotuspyyntö VVC:n jälkeisestä koodauksesta), 5. elokuuta 2026: https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2026/08/ag3w254SN26474Press-Release-MPEG155.pdf
- MPEG:n 152. kokouksen lehdistötiedote (näyttöpyynnön tulokset; VVC:n ja VSEI:n painokset), 30. lokakuuta 2025: https://www.mpeg.org/wp-content/uploads/2025/11/Press-Release-MPEG152.pdf ; ACM SIGMM:n MPEG-kolumni: https://records.sigmm.org/2025/12/09/mpeg-column-152nd-mpeg-meeting/

- Streaming Media, ”AI Helps InterDigital Reach Beyond VVC in Race to Develop Next-Gen Codec”: https://www.streamingmedia.com/Articles/News/Online-Video-News/AI-Helps-InterDigital-Reach-Beyond-VVC-in-Race-to-Develop-Next-Gen-Codec-171971.aspx
- GreyB, VVC:n jälkeisen koodauksen (H.267) patenttikartoitus: https://greyb.com/blog/exclusive-video-codec-landscape/ ; AV2-lisensoinnista ja Alibaban portfolion myynnistä: https://greyb.com/blog/av2-licensing/
- MLex, ”Fragmented codec licensing exposes need for clearer rules for Chinese tech majors”, 27. maaliskuuta 2026: https://www.mlex.com/mlex/articles/2458402/fragmented-codec-licensing-exposes-need-for-clearer-rules-for-chinese-tech-majors
- Access Advance, MCBA- ja VVC Advance -rojaltimaksut, tilanne 1. heinäkuuta 2026: https://accessadvance.com/wp-content/uploads/2025/07/MCBA-Program-Overview-September-2026.pdf

Raha ja yritykset

- InterDigital ostaa Deep Renderin, 30. lokakuuta 2025: https://www.advanced-television.com/2025/10/30/interdigital-acquires-deep-render
- TechCrunch, ”Apple acquired a startup using AI to compress videos”, 27. maaliskuuta 2023: https://techcrunch.com/2023/03/27/apple-acquired-a-startup-using-ai-to-compress-videos
- Neowin, ”Sony acquires AI video startup iSIZE”, marraskuu 2023: https://www.neowin.net/news/sony-acquires-ai-video-startup-isize-to-enhance-playstation-streaming/

OPITTU PAKKAUS · TOISTO × PIIRIT

Neuraalinen koodaus vuonna 2026

Tuotteissa koodekin ympärillä, ei sen tilalla

Raportin jokaisella keskeisellä luvulla on lähde ja päivämäärä. Kun kirjoittaja on johtanut luvun itse, se on merkitty arvioksi; kun lukua raportoi vain tuotteen myyjä, se on merkitty valmistajan väitteeksi.

Tan Shuai

Teknologi ja perustaja · Tekoälytutkija ja -kehittäjä

tanshuai.com · i@tanshuai.com

JULKINEN VERSIO · Tilanne 12. marraskuuta 2026