Эволюция методов диффузионной генерации видео

Константин Соболев

AIRI, Научный сотрудник

Руководитель команды Video Generative AI в составе лаборатории Fusion Brain

Содержание

01

Мотивация

Мотивация

→ За последние 2 года диффузионные модели модели генерации видео сделали огромный скачок в качестве

2022

HD разрешение, до 128 кадров

2023

Full HD разрешение, до 128 кадров

2024

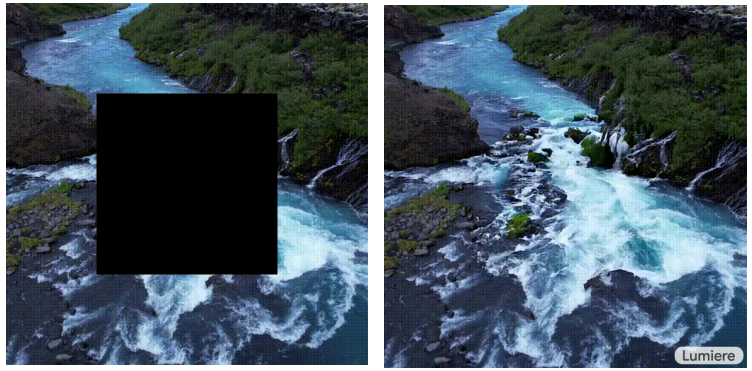
Full HD разрешение, до 1800 кадров

Imagen Video: Ho et al., "Imagen Video: High Definition Video Generation with Diffusion Models," arXiv 2022.
Blattmann, Andreas, et al. "Align your latents: High-resolution video synthesis with latent diffusion models." Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2023.
https://openai.com/index/sora/

Мотивация

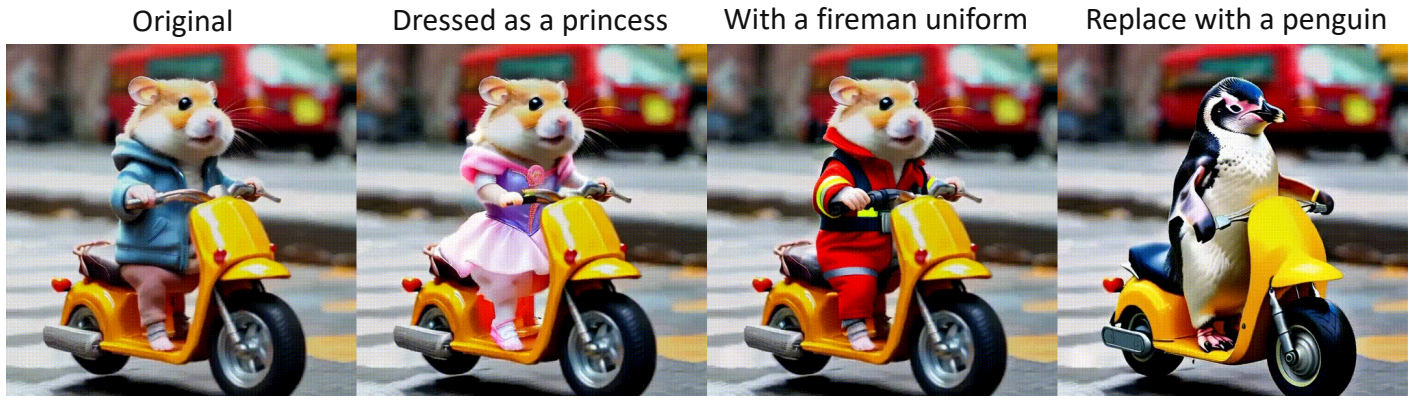
- Появилось множество новых направлений для применения моделей диффузионной генерации видео:
  - Text-to-Video
  - Image-to-Video
  - Video Inpainting
  - Video Editing
  - Video Enhancement
- Области применения:
  - Развлечения
  - Искусство
  - Реклама

Video Inpainting



Video Enhancement

Video Editing



Bar-Tal, Omer, et al. "Lumiere: A space-time diffusion model for video generation." *arXiv preprint arXiv:2401.12945* (2024).
Singer, Uriel, et al. "Video Editing via Factorized Diffusion Distillation." arXiv preprint arXiv:2403.09334 (2024).
He, Jingwen, et al. "VEnhancer: Generative Space-Time Enhancement for Video Generation." arXiv preprint arXiv:2407.07667 (2024).

02

Введение в диффузионные модели

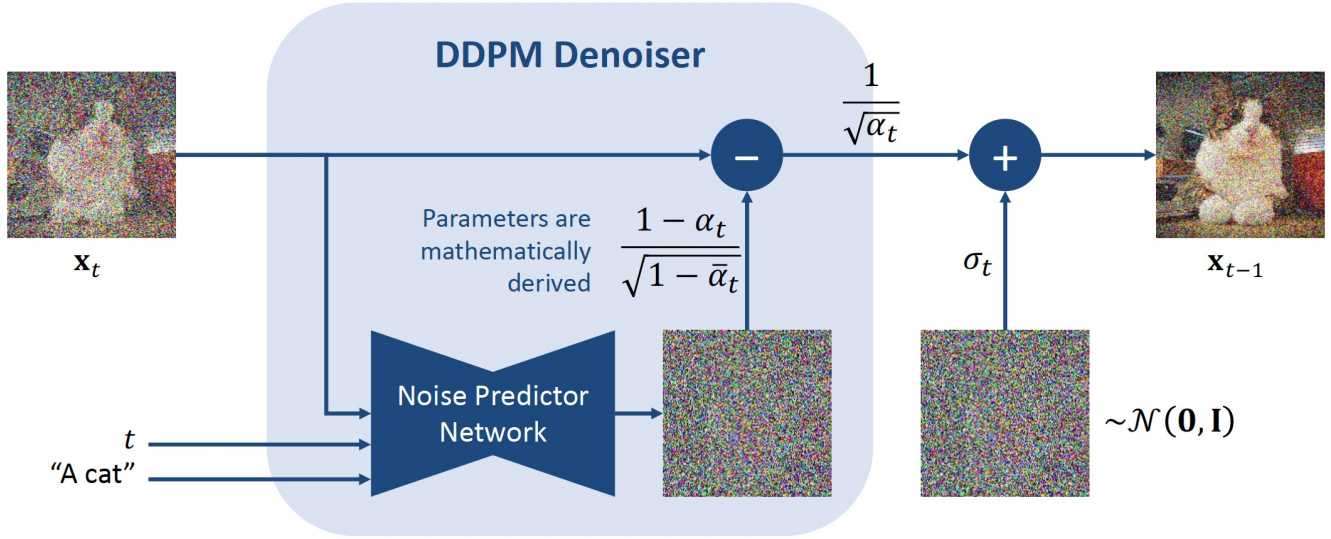
Введение в диффузионные модели

Прямой процесс диффузии – последовательное добавление шума

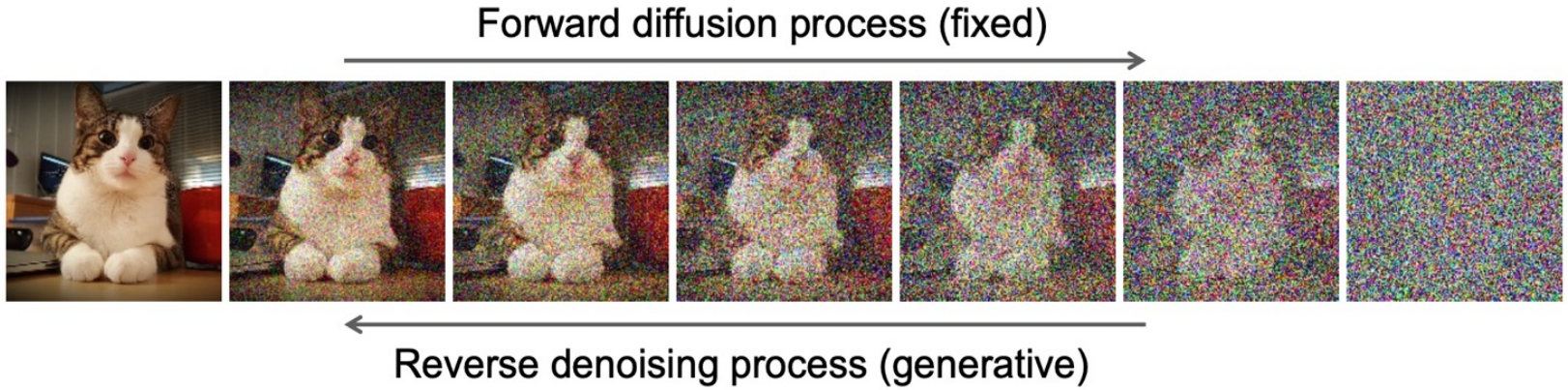
$$\mathbf{x}_t = \sqrt{\bar{\alpha}_t}\,\mathbf{x}_0 + \sqrt{(1-\bar{\alpha}_t)}\,\epsilon \text{ , где } \quad \epsilon \sim \mathcal{N}(\mathbf{0}, \mathbf{I})$$

Обратный процесс диффузии – последовательное удаление шума с помощью аппроксимации нейросети

$$p_\theta(\mathbf{x}_{t-1}|\mathbf{x}_t) = \mathcal{N}(\mathbf{x}_{t-1}; \boldsymbol{\mu}_\theta(\mathbf{x}_t, t), \boldsymbol{\Sigma}_\theta(\mathbf{x}_t, t))$$



Данные

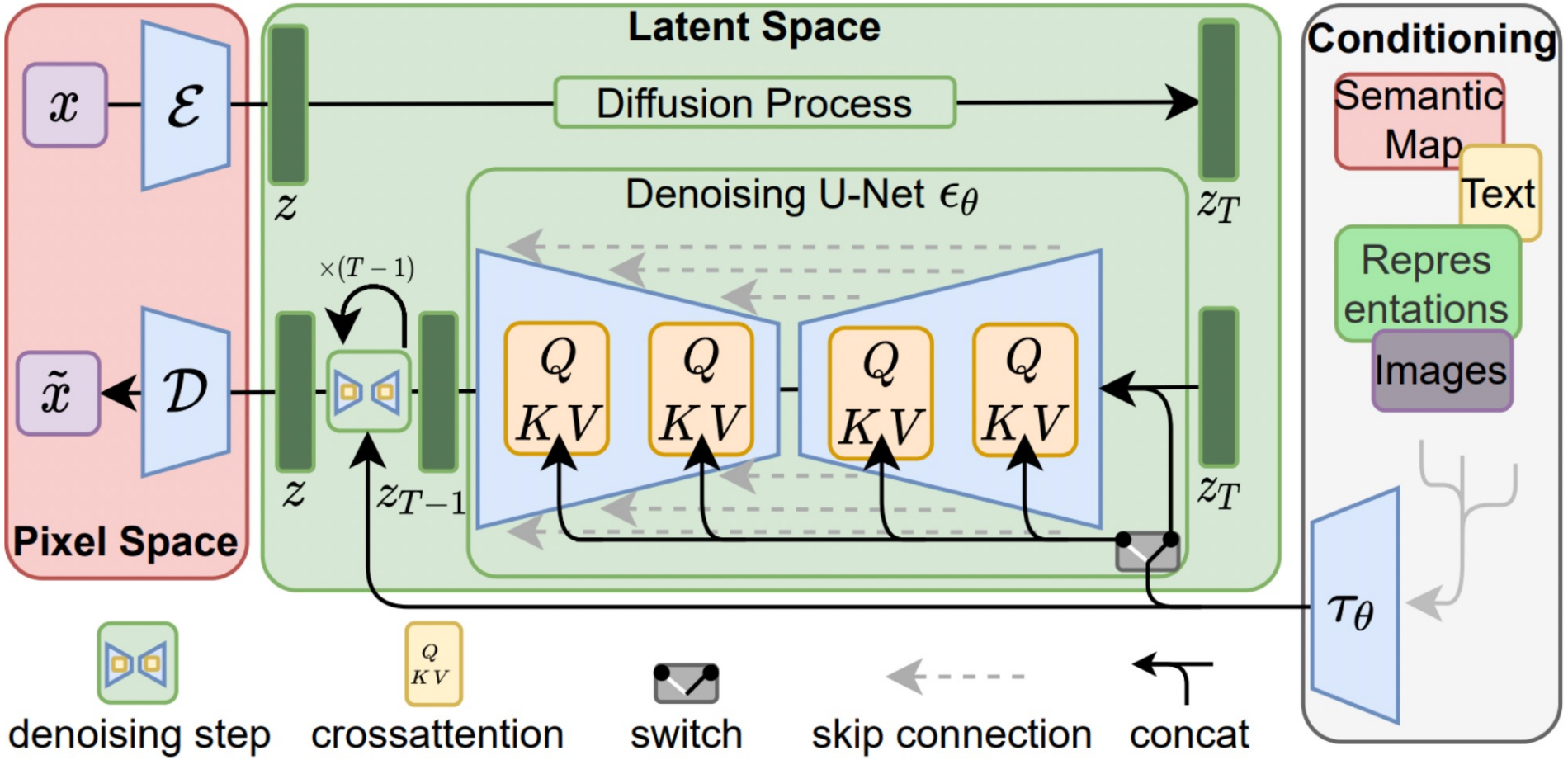


Шум

Ho et al., "Denoising Diffusion Probabilistic Models," NeurIPS 2020.
Sohl-Dickstein et al., "Deep Unsupervised Learning using Nonequilibrium Thermodynamics," ICML 2015.
Song et al., "Score-Based Generative Modeling through Stochastic Differential Equations," ICLR 2021.
Vahdat et al., "Denoising Diffusion Models: A Generative Learning Big Bang," CVPR 2023 Tutorial.

AIRI

Stable Diffusion



Rombach et al., "High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models," CVPR 2022.

Stable Diffusion

child's crayon drawing of minions

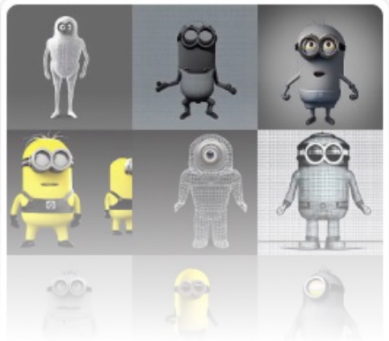
Minion

Totoro from my Neighbour

Biblically accurate Minion

vintage photograph of minions operating a tank during ww2

Historical footage of a riot caused by Minions, Nuremberg 1930s, grainy, detailed



Rombach et al., "High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models," CVPR 2022.

AIRI

03

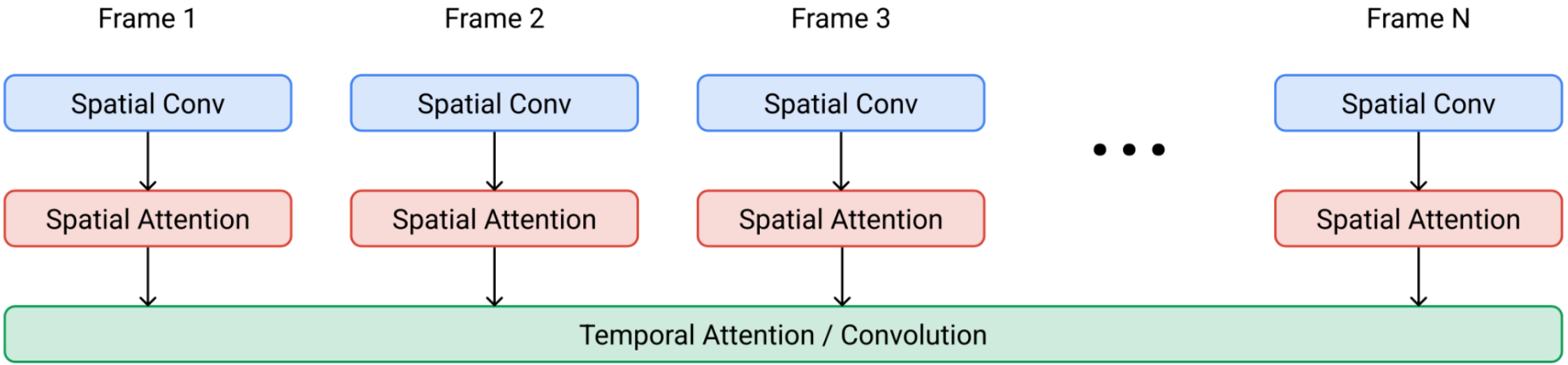
Первые работы по видео диффузии

Постановка задачи

2D output → 3D output

Video Diffusion Models

- 3D U-Net работающий в размерности пространства и времени
- Картиночные 2D свертки → пространственные 3D свертки,то есть от 2D к (2+1)D свертке
    - Kernel size: (3×3) → (1×3×3)
    - Feature vectors: (height ×weight ×channel) → (frame×height ×width ×channel)
- Пространственное внимание: не меняем
- Добавляем слой временного внимания: attend across the temporal dimension (spatial axes as batch)

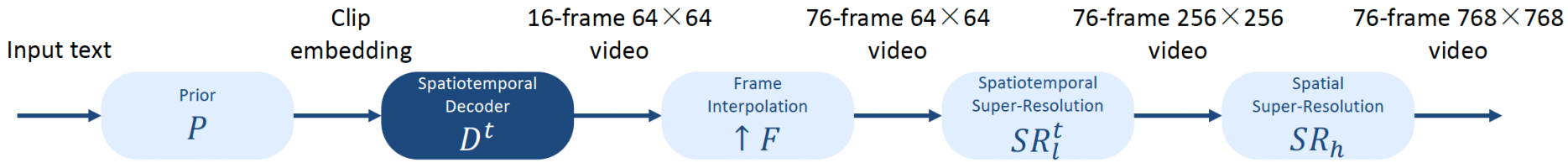


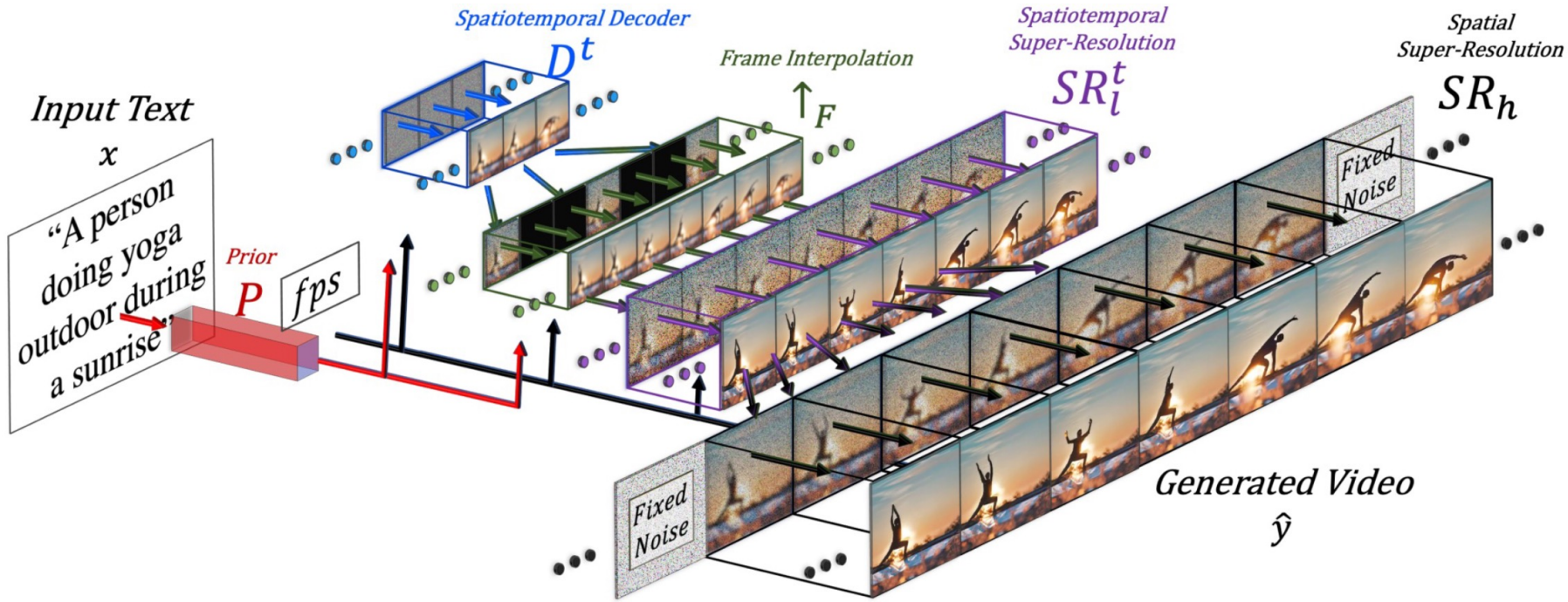
Ho et al., "Video Diffusion Models," NeurIPS 2022.

Video Diffusion Models

Ho et al., "Video Diffusion Models," NeurIPS 2022.

Make-A-Video – каскадная генерация

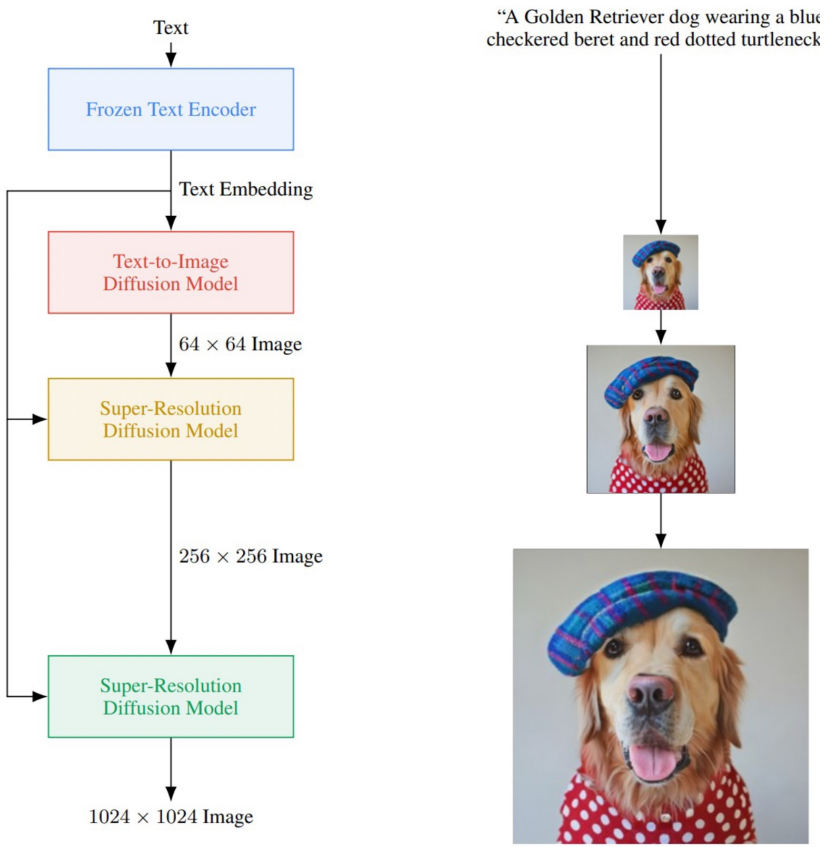




Ho et al., "Video Diffusion Models," NeurIPS 2022.

Imagen & Imagen Video

Imagen (for images)



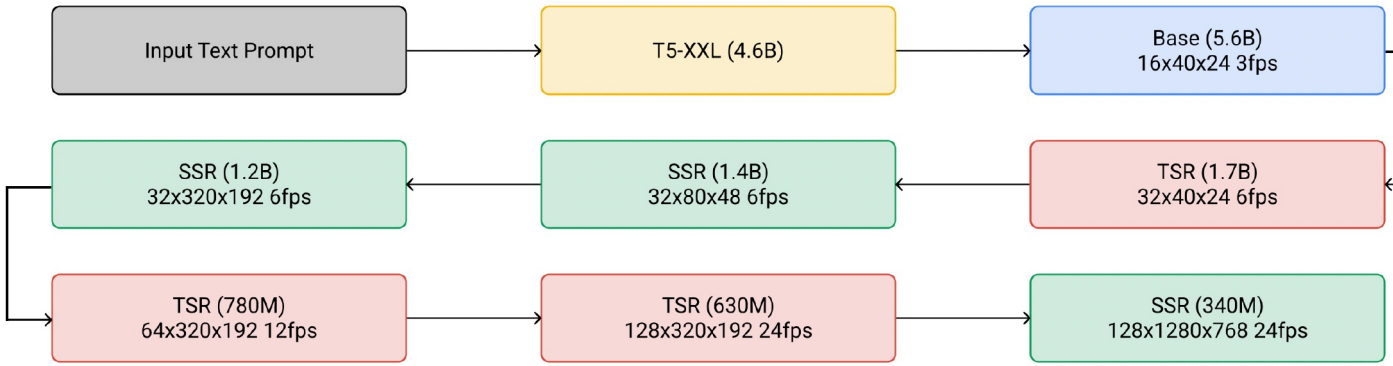


Imagen: Saharia et al., "Photorealistic Text-to-Image Diffusion Models with Deep Language Understanding," arXiv 2022.
Imagen Video: Ho et al., "Imagen Video: High Definition Video Generation with Diffusion Models," arXiv 2022.

Make-A-Video – примеры

A dog wearing a Superhero outfit with red cape flying through the sky

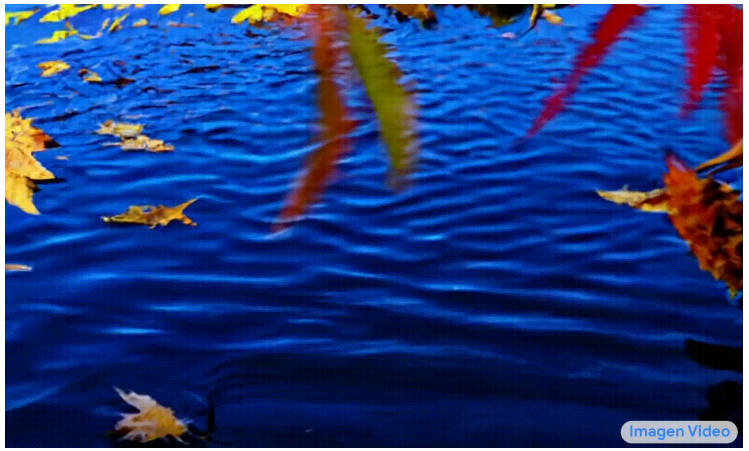
A golden retriever eating ice cream on a beautiful tropical beach at sunset, high resolution

A teddy bear painting a portrait

Ho et al., "Video Diffusion Models," NeurIPS 2022.

Imagen Video

A happy elephant wearing a birthday hat walking under the sea.



A bunch of autumn leaves falling an a calm lake to form text ‘Imagen Video’. Smooth.

Flying through an intense battle of ships in the ocean.

Imagen: Saharia et al., “Photorealistic Text-to-Image Diffusion Models with Deep Language Understanding,” arXiv 2022.
Imagen Video: Ho et al., “Imagen Video: High Definition Video Generation with Diffusion Models,” arXiv 2022.

04

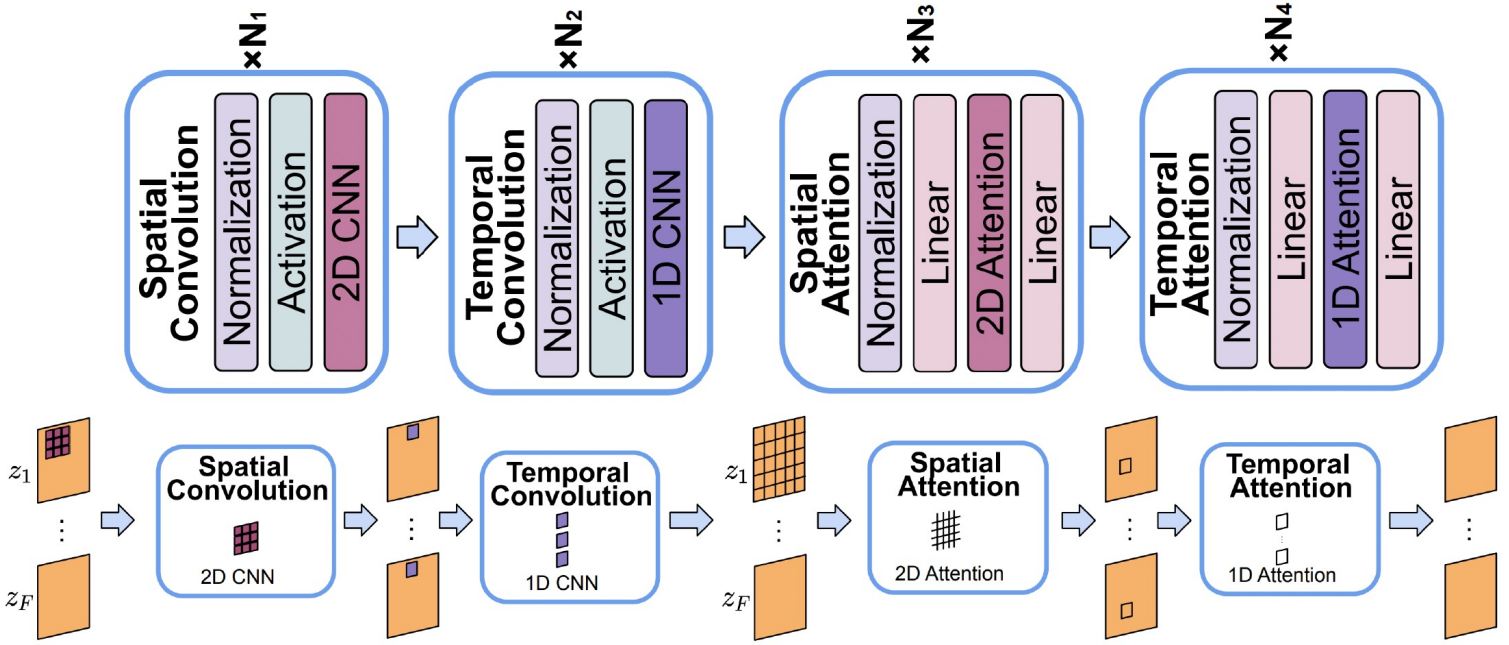
Адаптация T2I моделей на T2V

ModelScopeT2V

- T2V сложнее учить, чем T2I, а датасеты изображений гораздо более многообразны, чем видео (5B vs 10M);
- Видео данные менее многочисленны и разнообразны, чем картиночные (миллиарды vs десятки миллионов)ж
- В Open Source есть качественные T2I модели (Stable Diffusion);

Решение:

- Переиспользовать веса T2I моделей, расширяя архитектуру из 2D в 3D: добавить временную свертку и временное внимание.



Wang et al., "ModelScope Text-to-Video Technical Report," arXiv 2023.

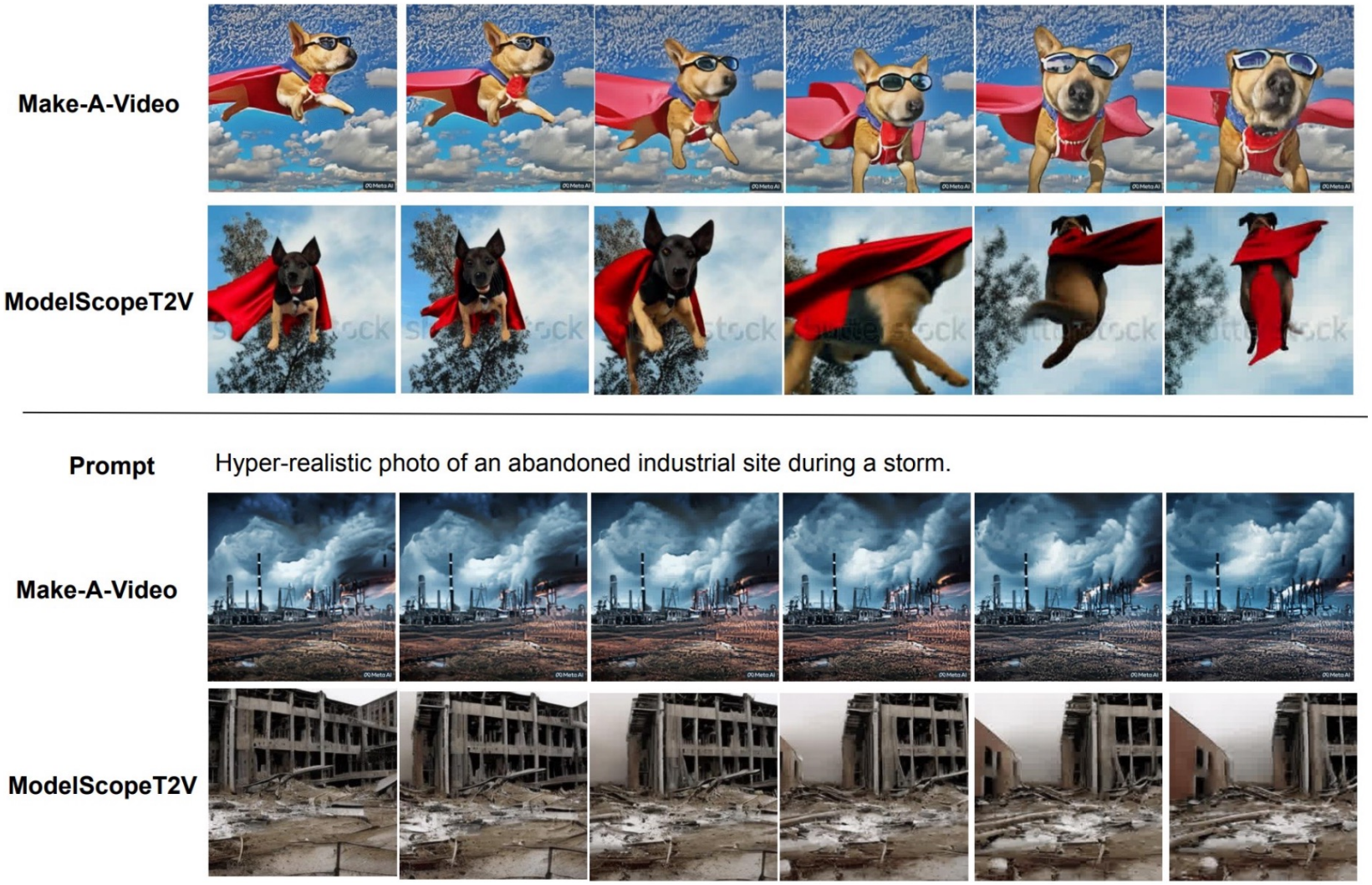
ModelScopeT2V

Models	FID-vid (↓)	FVD (↓)	CLIPSIM (↑)
NÜWA [62]	47.68	-	0.2439
CogVideo (Chinese) [20]	24.78	-	0.2614
CogVideo (English) [20]	23.59	1294	0.2631
MagicVideo [71]	-	1290	-
Video LDM [3]	-	-	0.2929
Make-A-Video [51]	13.17	-	**0.3049**
ModelScopeT2V (ours)	**11.09**	**550**	0.2930

Table 1: **Quantitative comparison with state-of-the-art models on MSR-VTT.** We evaluate the models with three metrics (*i.e.*, FID-vid [15], FVD [57], and CLIPSIM [61]).

Wang et al., "ModelScope Text-to-Video Technical Report," arXiv 2023.

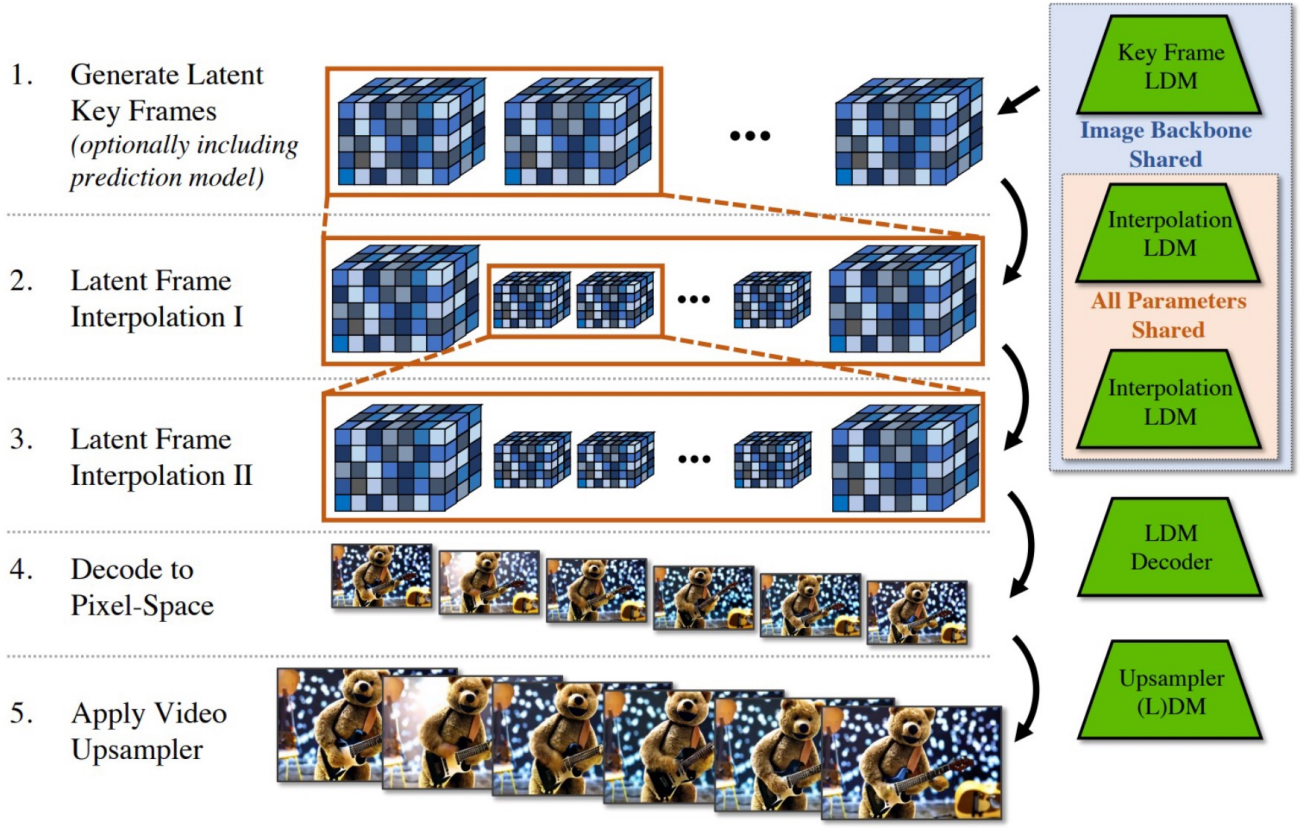
ModelScopeT2V



Wang et al., "ModelScope Text-to-Video Technical Report," arXiv 2023.

Align your Latents & Stable Video Diffusion

- Align Your Latents:
  - Расширение Stable Diffusion;
  - Каскад из 5 моделей позволяет генерировать Full HD видео до 113 кадров;
- Stable Video Diffusion:
  - Та же архитектура, что и в Align Your Latents;
  - Показали важность фильтрации данных.

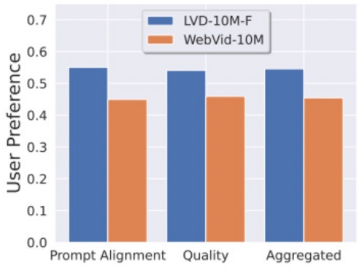


Blattmann et al., "Align your Latents: High-Resolution Video Synthesis with Latent Diffusion Models," CVPR 2023.
Blattmann et al., "Stable Video Diffusion: Scaling Latent Video Diffusion Models to Large Datasets," 2023.

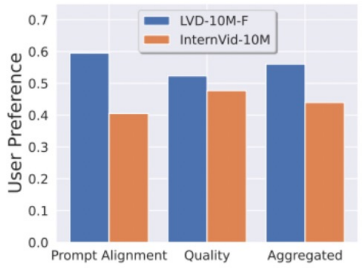
Stable Video Diffusion

Стадии обучения

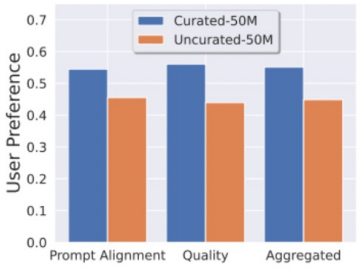
- Стадия I: Предобучение на изображениях (инициализация весов Stable Diffusion 2.1)
- Стадия II: Создание предварительной обучающей базы видеоданных:
  - Фильтрация данных для предобучения повышает качество модели



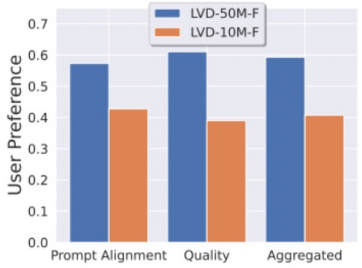
(a) User preference for *LVD-10M-F* and WebVid [6].



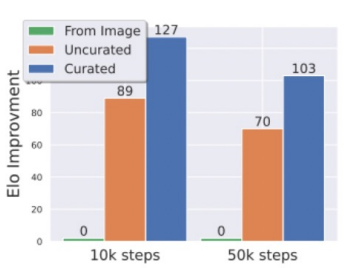
(b) User preference for *LVD-10M-F* and InternVid [96].



(c) User preference at 50M samples scales.

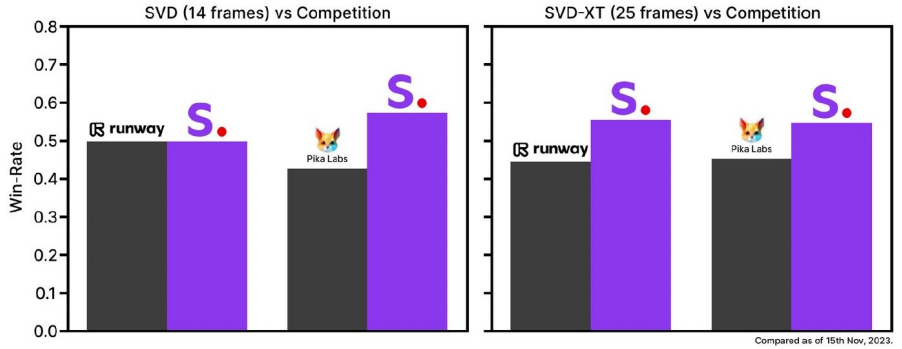


(d) User preference on scaling datasets.



(e) Relative ELO progression over time during Stage III.

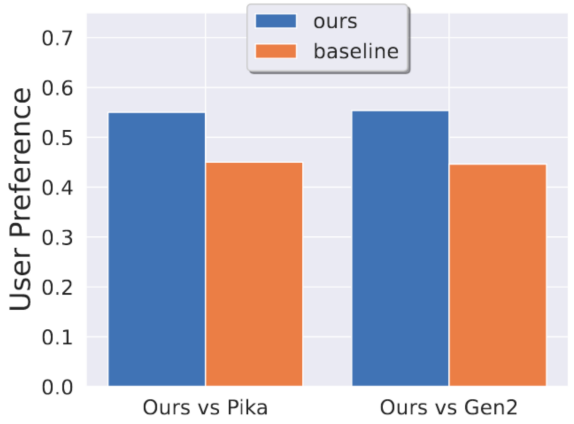
- Стадия III: Дообучение модели на высококачественных видеоданных



Blattmann et al., "Stable Video Diffusion: Scaling Latent Video Diffusion Models to Large Datasets," 2023.

Stable Video Diffusion

Method	FVD (↓)
CogVideo (ZH) [41]	751.34
CogVideo (EN) [41]	701.59
Make-A-Video [78]	367.23
Video LDM [8]	550.61
MagicVideo [110]	655.00
PYOCO [27]	355.20
SVD (*ours*)	**242.02**



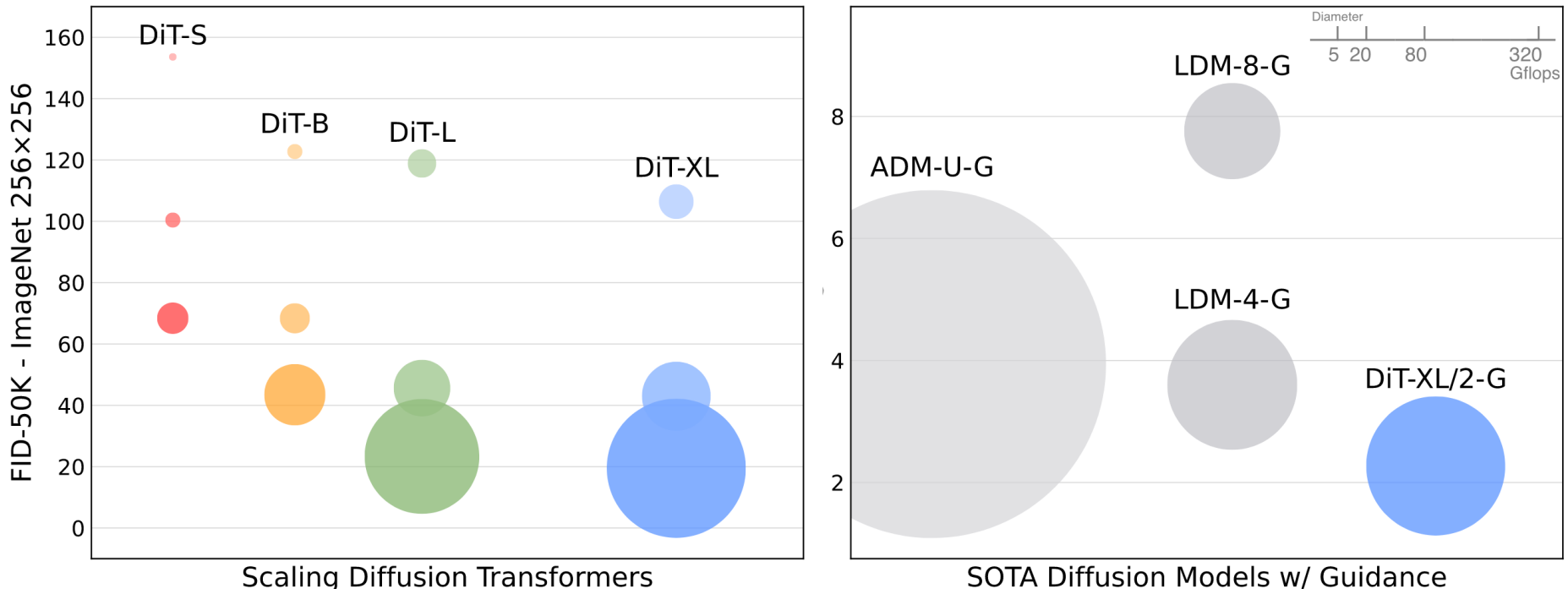
Blattmann et al., "Stable Video Diffusion: Scaling Latent Video Diffusion Models to Large Datasets," 2023.

05

Диффузионные трансформеры для видео

Мотивация

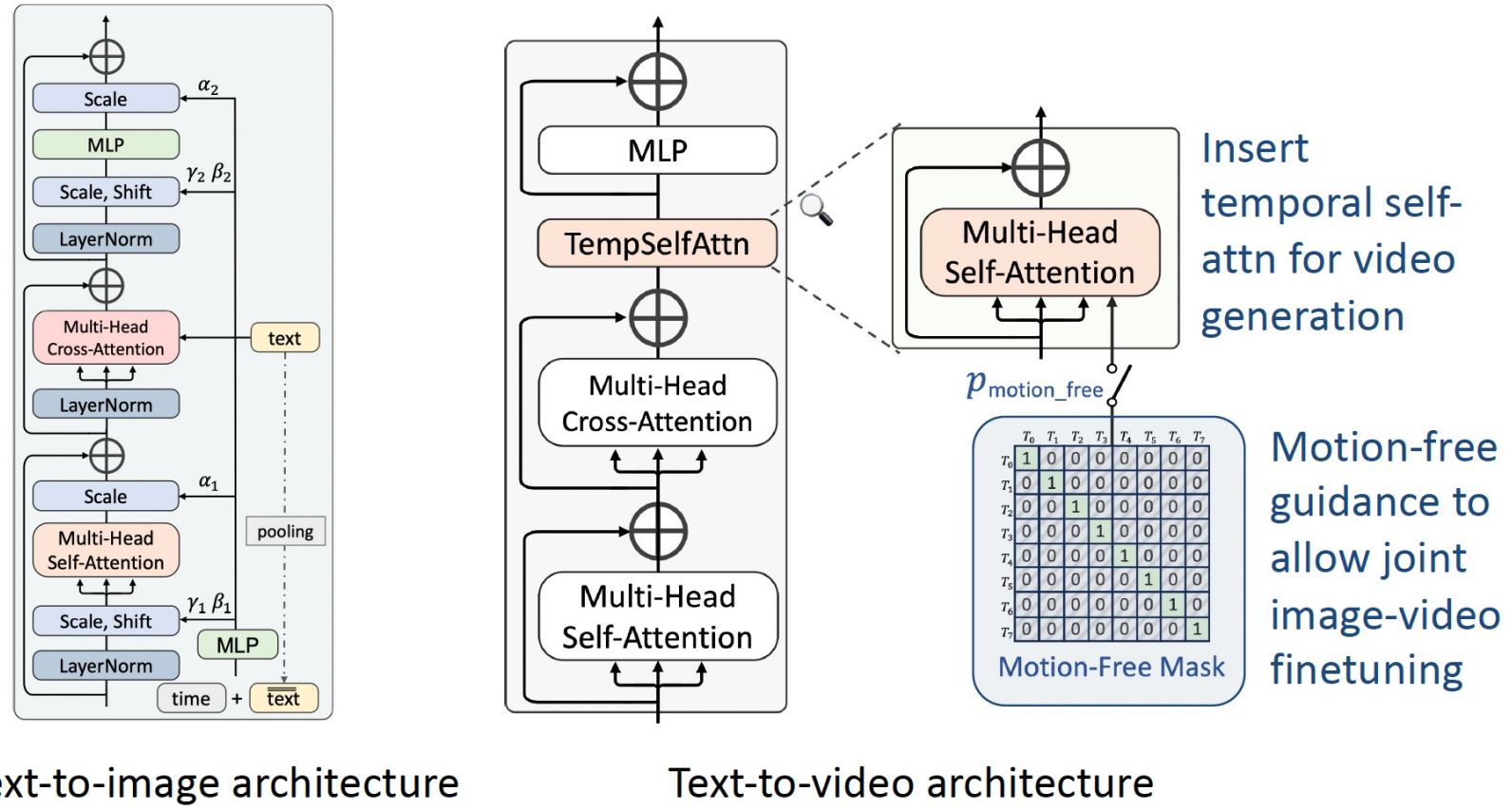
- U-Net плохо растет в качестве с увеличением параметров
- Нужна новая архитектура, которая хорошо масштабируется
- Диффузионный трансформер (DiT) – отличный вариант



Peebles, William, and Saining Xie. "Scalable diffusion models with transformers." Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision. 2023.

GenTron

- Transformer-based architecture extended from DiT (class-conditioned transformer-based LDM)
- Train T2I -> insert temporal self-attn -> joint image-video finetuning (motion-free guidance)



Text-to-image architecture

Text-to-video architecture

Chen et al., "GenTron: Delving Deep into Diffusion Transformers for Image and Video Generation," arXiv 2023.

GenTron

A fantasy landscape trending on Artstation, 4k

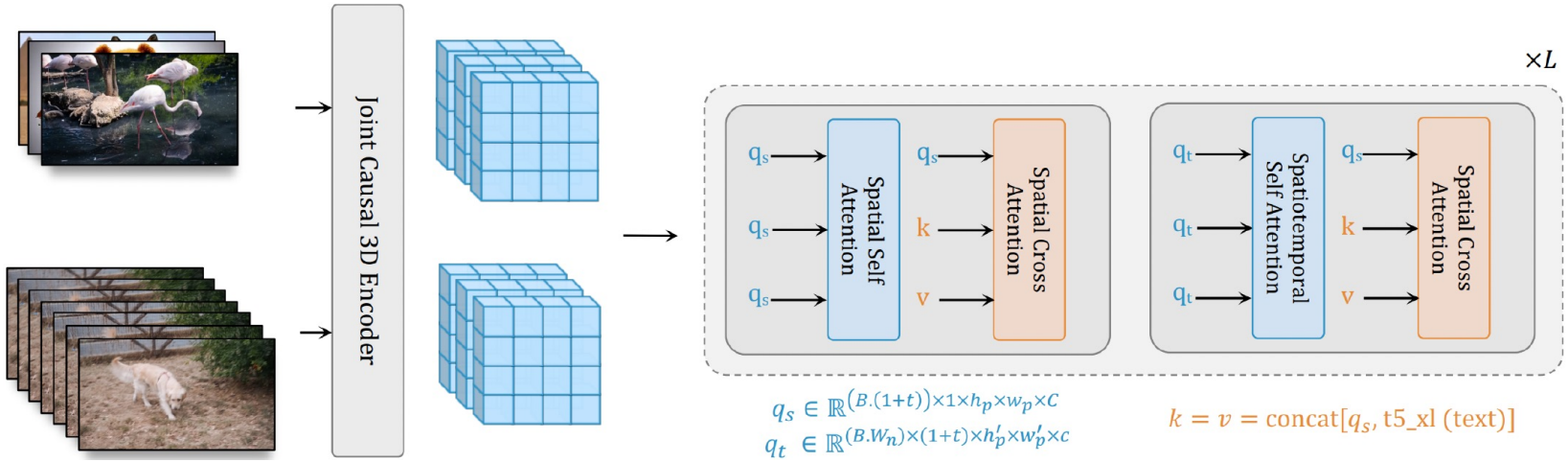
An astronaut flying in space, 4k high resolution

Traveler walking alone in the misty forest at sunset, 4k

Chen et al., "GenTron: Delving Deep into Diffusion Transformers for Image and Video Generation," arXiv 2023.

W.A.L.T.

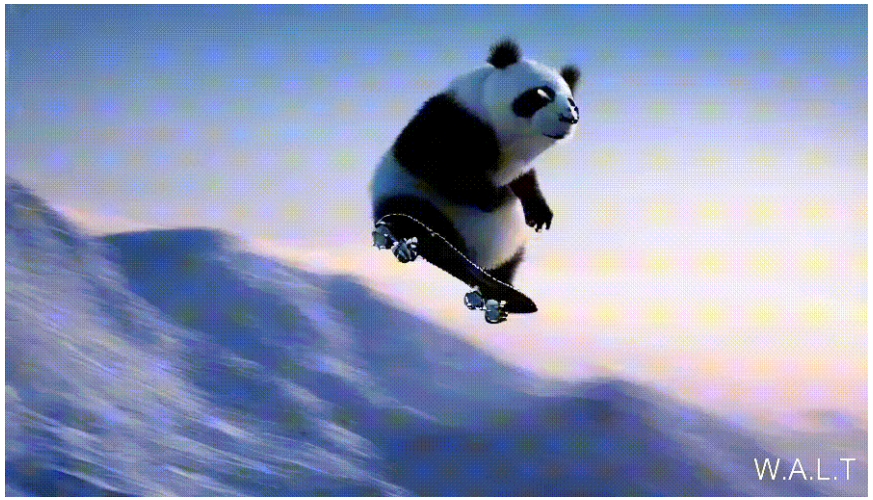
- Transformer-based denoising diffusion backbone
- Joint image-video training via unified image/video latent space (created by a joint 3D encoder with causal 3D conv layers, allowing the first frame of a video to be tokenized independently)
- Window attention to reduce computing/memory costs
- Cascaded pipeline for high-quality generation

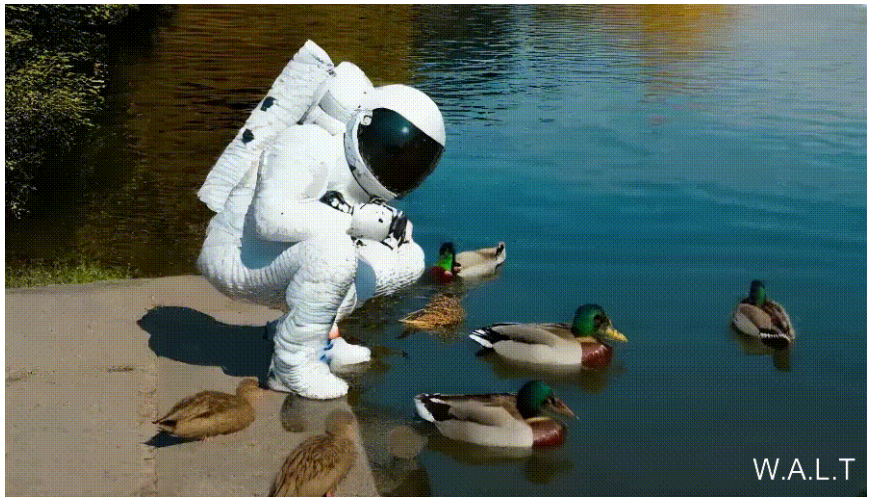


Gupta et al., "Photorealistic Video Generation with Diffusion Models," arXiv 2023.

W.A.L.T.

Method	IS (↑)	FVD (↓)
CogVideo (Chinese) [37]	23.6	751.3
CogVideo (English) [37]	25.3	701.6
MagicVideo [88]	-	699.0
Make-A-Video [66]	33.0	367.2
Video LDM [4]	33.5	550.6
PYoCo [24]	**47.8**	355.2
W.A.L.T *(Ours)* 419M (video only)	26.8	598.8
W.A.L.T *(Ours)* 419M (video + image)	31.7	344.5
W.A.L.T *(Ours)* 3B (video + image)	35.1	**258.1**





Gupta et al., "Photorealistic Video Generation with Diffusion Models," arXiv 2023.

06

Sora и аналоги

Sora-like модели

15 февраля 2024 года Open AI анонсировали свою модель генерации видео под названием Sora, которая существенно превосходит все предыдущие модели.

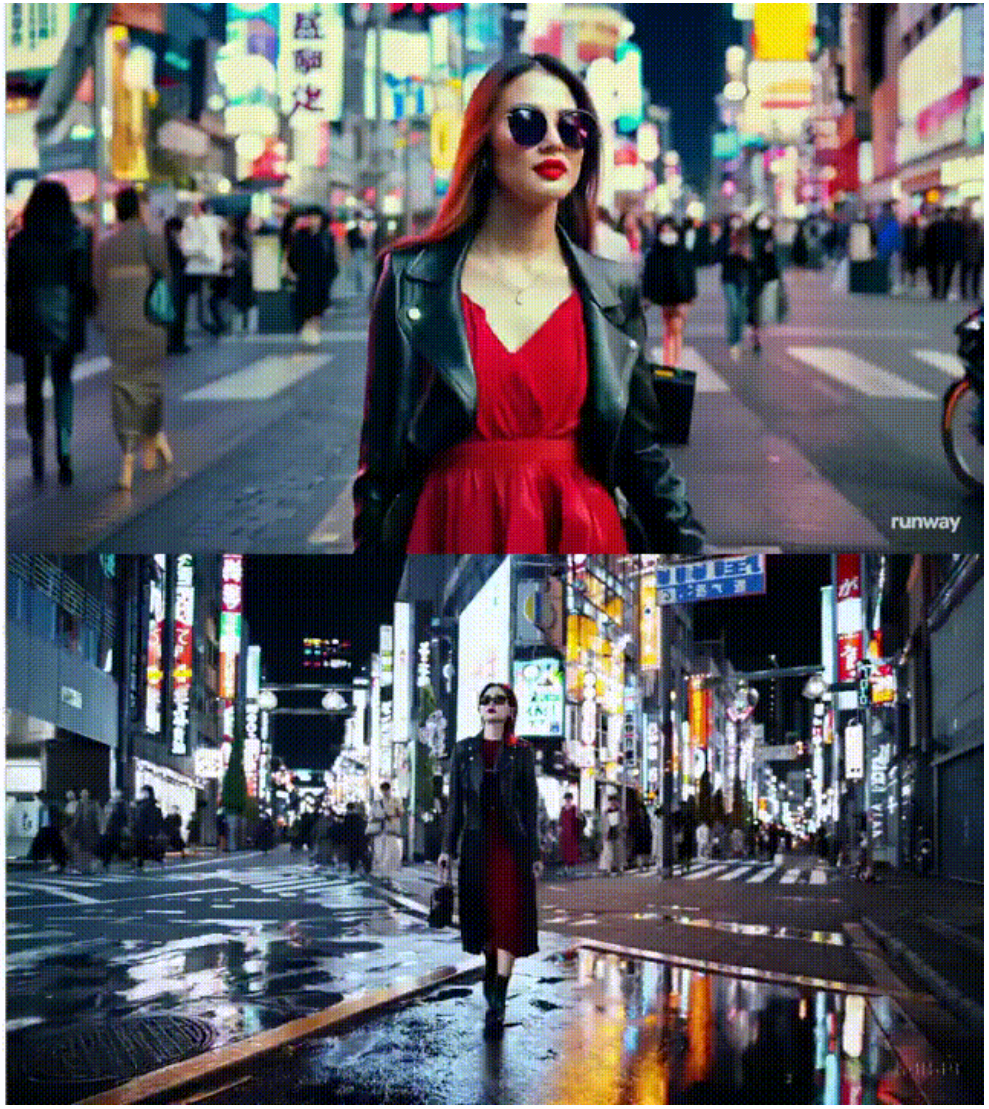
- Мало технических деталей
- Большое разрешение – 2048 x 1080
- Длинные видео ~ 2k кадров
- Диффузионный трансформер

runway

Prompt: A stylish woman walks down a Tokyo street filled with warm glowing neon and animated city signage. She wears a black leather jacket, a long red dress, and black boots, and carries a black purse. She wears sunglasses and red lipstick. She walks confidently and casually. The street is damp and reflective, creating a mirror effect of the colorful lights. Many pedestrians walk about.

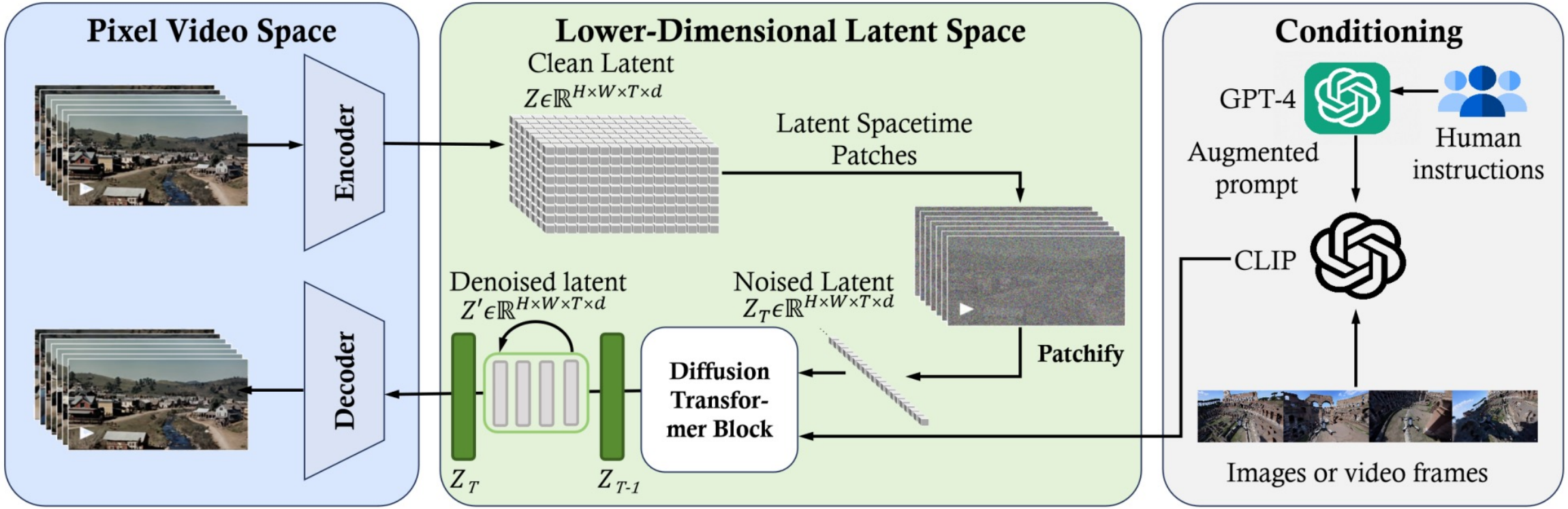
@ProperPrompter

Sora



AIRI

Архитектура



Скейлинг

Авторы показали, что диффузионные трансформаторы эффективно масштабируются. Ниже мы приводим сравнение примеров видео с фиксированными семплами и входными данными по мере обучения. Качество примеров заметно улучшается по мере увеличения количества обучающих вычислений.

Базовая модель

4x модель

32x модель

Список моделей

С момента анонса Sora ряд компаний представили свои модели генерации видео сопоставимого качества.

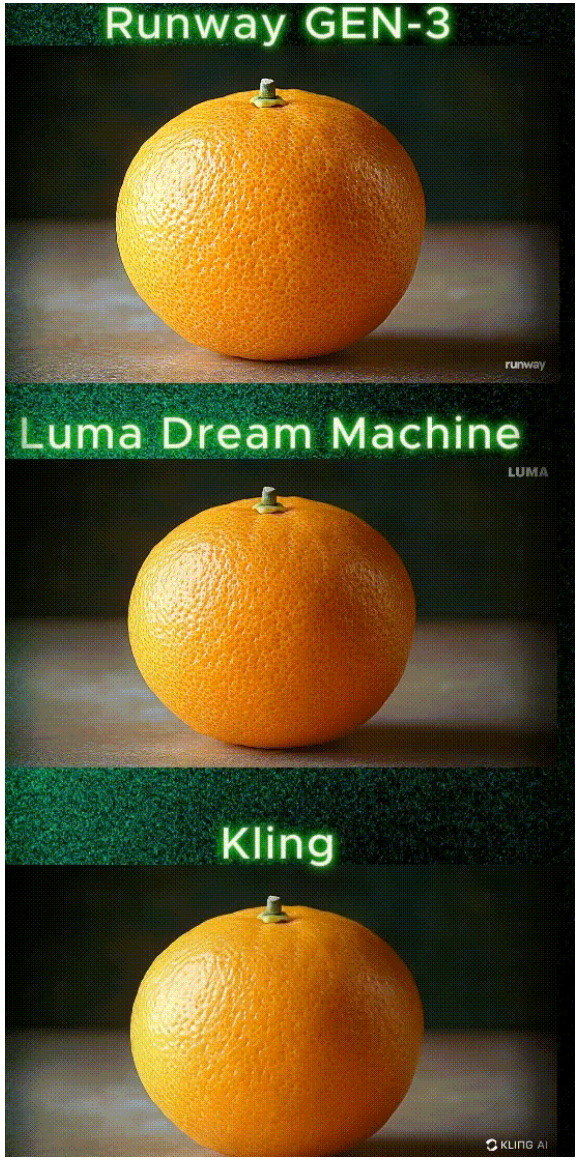
Модель	Компания	Страна	Статус	Детали
Sora	Open AI	США	Анонс	1080p видео до 60 секунд
Vidu	ShengShu	Китай	Анонс	1080p видео до 16 секунд
Veo	Google	США	Анонс	1080p видео до 60 секунд
Kling	Kuaishou	Китай	Открытый доступ	1080p видео до 5 секунд
Dream Machine	Luma Labs	США	Открытый доступ	~720p видео до 5 секунд
Gen-3	Runway AI	США	Открытый доступ (платный)	~720p видео до 10 секунд
CogVideoX	Tsinghua University	Китай	Открытый код и веса	720×480 видео до 6 секунд
OpenSora & OpenSoraPlan	AI Community	-	Открытый код и веса	~720p видео до 4 секунд

Open Access: Kling vs Dream Machine vs Gen3

Модель	Детали	Режимы	Сайт
Kling	1080p видео до 5 секунд	Text-to-Video Image-to-Video	https://kling.kuaishou.com
Dream Machine	~720p видео до 5 секунд		https://lumalabs.ai/dream-machine
Gen-3	~720p видео до 10 секунд		https://runwayml.com

Midjourney + Dream Machine

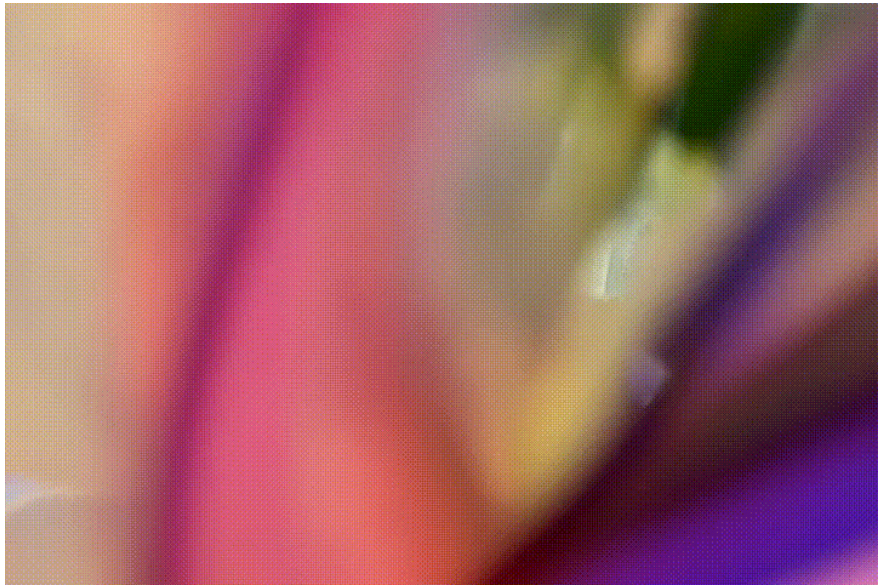
Midjourney + Gen 3

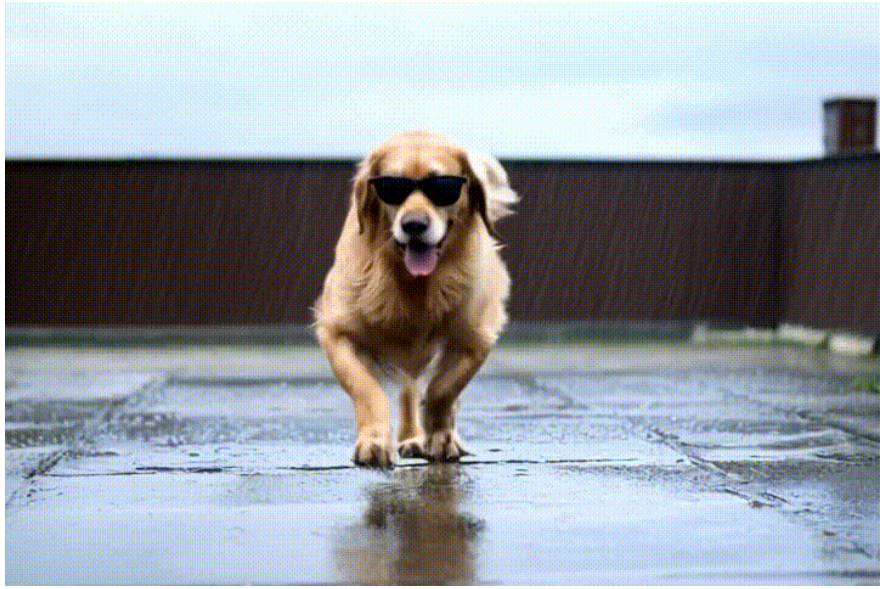


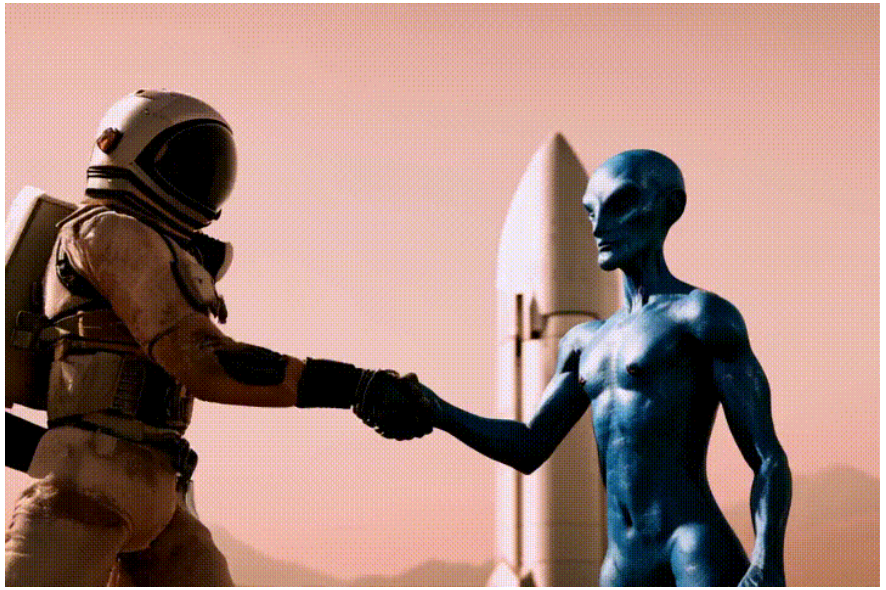
Yang, Zhuoyi, et al. "Cogvideox: Text-to-video diffusion models with an expert transformer." arXiv preprint arXiv:2408.06072 (2024)..

Open Source: CogVideoX

- Генерирует 720 × 480 видео до 6 секунд
- Доступны 2B и 5B модели
- Разработала команда Tsinghua University
- Код и веса: https://github.com/THUDM/CogVideo







Yang, Zhuoyi, et al. "Cogvideox: Text-to-video diffusion models with an expert transformer." arXiv preprint arXiv:2408.06072 (2024)..

AIRI

Open Source: Open Sora & Open Sora Plan

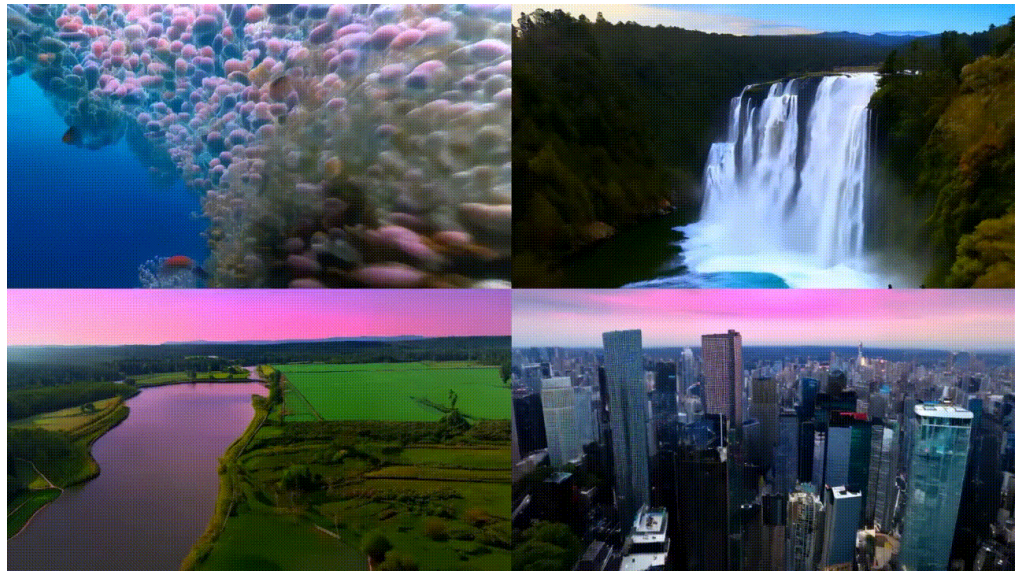
Два проекта от энтузиастов из интернета

- Оба генерируют 720p видео 4 секунды;
- У обоих проектов уже третья версия модели;
- Модели ощутимо меняются от версии к версии.

Ссылки на проекты:

- Open Sora: https://github.com/hpcaitech/Open-Sora
- Open Sora Plan: https://github.com/PKU-YuanGroup/Open-Sora-Plan

Генерации Open Sora Plan



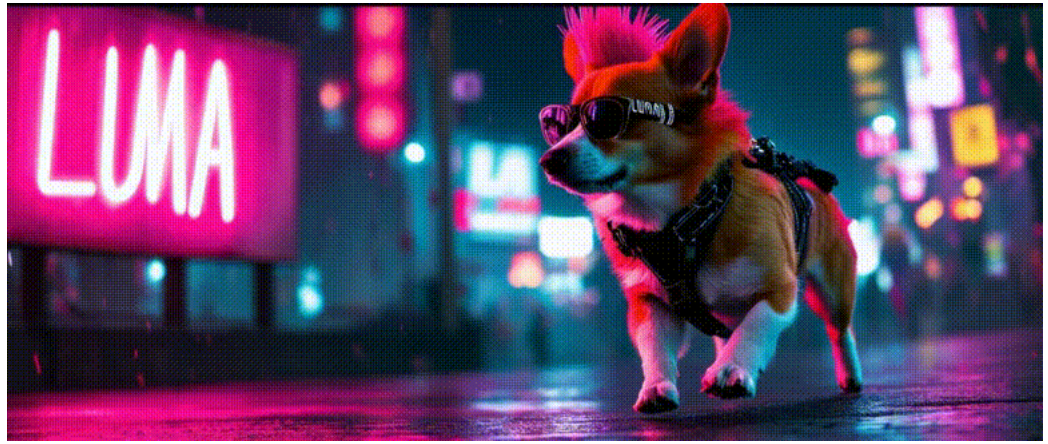
Генерации Open Sora

Недостатки

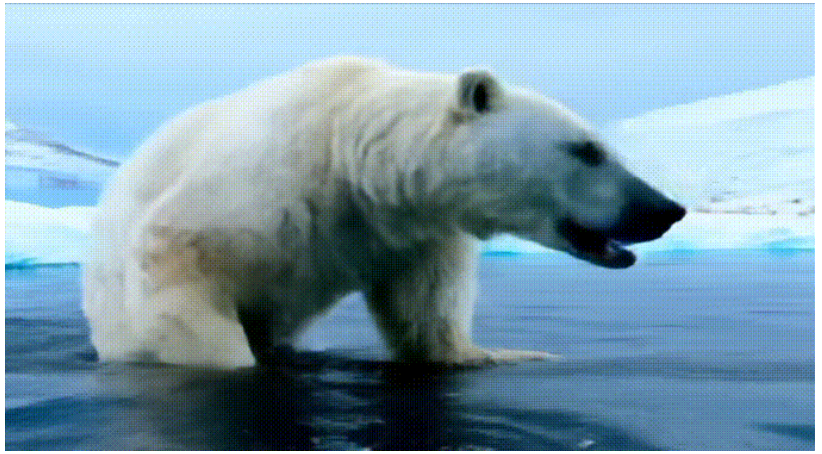
Морфинг объектов

Ошибки в отрисовке текста

Нереалистичные движения



Физиологические ошибки



https://lumalabs.ai/dream-machine

Недостатки

- Современные модели недостаточно хорошо понимают текст, а так же наш мир;
- Генерация длинных видео (больше 1 минуты) требует огромной вычислительной сложности;
- Отсутствуют крупные публичные наборы данных обучения (авторские права);
- Слабый контроль видео (текстовое описание, изображение).

Prompt: Step-printing scene of a person running, cinematic film shot in 35mm.

Prompt: Archeologists discover a generic plastic chair in the desert, excavating and dusting it with great care.

07

Выводы и перспективы

Выводы

- За последние 3 года в области диффузионные модели совершили прорыв в области генерации видео;
- Основные ингредиенты хорошей модели – это много качественных данных и много GPU;
- Уже существует множество сервисов и открытых моделей, с которыми можно бесплатно ознакомиться;
- Помимо генерации развиваются другие направление: Editing, Inpainting, Enhancement;
- Несмотря на неожиданный прирост в качестве с выходом Sora, данные модели в задаче генерации видео осталось много нерешенных проблем;

Контакты

Соболев Константин

AIRI, Научный сотрудник
Руководитель команды Video Generative AI

sobolev@airi.net

AIRI

airi.net

airi_research_institute

AIRI Institute

AIRI Institute

Telegram

Artificial Intelligence
Research Institute