

游戏引擎发展史

从藏在游戏里的代码，到连接创作与发布的实时 3D 平台

中文图文报告

研究截止日：2026 年 8 月 17 日

技术能力 · 生产方式 · 商业模式 · 平台生态

目录

导读：引擎不是一块“让画面变好”的程序.....	3
一、前史（1970—1989）	4
二、1990 年代.....	5
三、2000 年代.....	6
四、2010 年代.....	8
五、2020—2026.....	10
六、引擎演进的是“可复用边界”	13
证据边界与尚未完全解决的缺口.....	13
参考资料.....	14

注：页码以本定稿版为准。

中文图文报告 | 研究截止日：2026 年 8 月 17 日
本文面向普通读者，以“可复用边界如何扩大”为主线，而非罗列厂商。文中 [Sxxx] 与 [Xxxx] 指向末尾逐一对应的参考资料；“史实”“综合判断”“趋势”采用不同措辞，避免把推断写成已发生事实。

导读：引擎不是一块“让画面变好”的程序

日常语言常把游戏引擎理解为“负责画面的底层软件”。这只能说中了局部。本文采用一个更实用的工作定义：**游戏引擎是可在多个项目中复用的运行时系统，以及围绕内容生产、集成、构建和部署形成的工具体系**。渲染、输入、音频、碰撞、物理、资源管理、脚本、联网、场景与对象模型都可能是其中一层；现代通用引擎还通常包含编辑器、资产管线、性能分析和多平台构建。

这个定义有三点好处。第一，它不会用今天的“大型编辑器”标准否认 1980 年代已经存在的脚本运行时和构造工具。第二，它也不会把一个图形 API 或单项渲染突破误称为完整引擎。第三，它解释了本文的主线：**游戏引擎史并非画面质量的直线上升，而是可复用范围从游戏内部代码，逐步扩展到工具、平台后端、商业许可、资产交易、云服务和宿主创作生态的历史**。

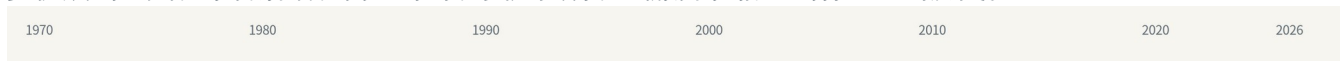


图 1 | 从专用代码到实时 3D 平台：五期主线。节点按主要影响层排列，日期是有证据支持的事件锚点，不表示旧模式在分期边界突然消失。来源：本文引用的 S005-S006、S010-S012、S017、S021、S024-S025、S027-S029、S036、S039-S040、S054-S055、S068、S070-S073、S076、S078、S090-S091、S093、S101-S104，以及仅用于“产品/愿景存在”而降级使用的 X028、X048-X049。原创绘制。

一、前史（1970—1989）：先有专用代码，后有可复用边界

1. 硬件决定程序形状

1977 年上市的 Atari VCS/2600 只有 128 字节 RAM，画面生成与扫描线时序紧密相连；这种机器上的显示、逻辑和卡带数据往往必须为一款游戏共同设计。[S001] 1981 年《Donkey Kong》的开发回忆同样描述了 sprite 层、背景显存、图案 ROM 与汇编程序彼此咬合的板级路径；发行年份则可由任天堂史页核对。[S003-S004]

这些材料支持的史实是：早期主机和街机开发受到很强的硬件边界约束。它们并不能证明每个项目都“没有复用”，更不能让我们把所有显示代码追认为现代引擎。准确的说法是：**可复用能力尚未形成一个独立、可授权、带完整工具链的产品边界**。

2. 内容工具先于现代通用引擎出现

1983 年，Bill Budge 的《Pinball Construction Set》已经让用户摆放弹球台部件、保存并通过软盘交换作品。[S005-S006] 它不是面向各种游戏类型的通用引擎，却揭示了后来引擎生态的一条长期规律：**当内容数据与程序规则分离，非程序员便能在受控系统里创作**。

1984 年《Elite》的代码档案可见线框 3D 绘制、顶点计算、背面剔除与裁剪；博物馆条目则确认其年代与 3D 表现。[S007-S009] 这是重要的游戏内部 3D 子系统，但现有证据不足以把它写成对外授权、跨无关项目复用的“完整 3D 引擎”。画面技术史与引擎史在这里相交，却不能画等号。

3. SCUMM：从一次性逻辑到脚本—解释器—工具体系

1987 年为《Maniac Mansion》开发的 SCUMM，其名称来自“Script Creation Utility for Maniac Mansion”。Lucasfilm 的回顾与 Ron Gilbert 的开发回忆都支持：它把脚本语言、运行时和内容制作连接起来，并在此后的冒险游戏中持续修订复用。[S010–S012]

SCUMM 的历史意义不在于争夺“第一个完整游戏引擎”的头衔——这个头衔缺乏统一定义——而在于它清楚展示了一种新的生产方式：程序员维护可复用解释器和工具，设计者把场景、对白与交互写成数据或脚本。Freescape 与 1987 年《Driller》也提供了较早可复用实时实体 3D 技术的线索，但“首款”在本文只限定为“首款采用 Freescape 的游戏”，性能与复用细节主要来自创作者单源，故不再外推。[S013–S014]

本期四维小结

- **技术能力**：从逐机、逐项目实现中出现可复用显示与运行时子系统。
- **生产方式**：构造套件与脚本把内容创作从硬编码中部分拆出。
- **商业模式**：主要仍是随游戏销售；尚无证据表明这些案例形成了现代通用引擎授权市场。
- **生态影响**：玩家创作和跨作品工具复用开始出现，但多限于特定游戏类型或组织内部。

二、1990 年代：引擎成为可命名、可授权、可修改的技术产品

1. 图形 API 把硬件差异推到一层接口之后

Khronos 将 OpenGL 的起点列为 1992 年；微软则在 1996 年 6 月宣布 Direct3D 随 DirectX 2 SDK 出货。[S016, S021] John Carmack 1996 年关于 Quake 的记录又显示，开发者会在软件渲染、OpenGL 与当时的 Direct3D 路径之间作具体选择。[S017]

OpenGL 和 Direct3D **不是游戏引擎**：它们不提供完整的资源、逻辑、音频和生产工具。它们的历史作用更像地基——为渲染后端与硬件抽象提供公共接口，使引擎厂商可以把平台适配集中到较稳定的层。现有材料没有量化 API 对授权市场的单独贡献，所以本文只说它们“提供条件”，不说它们“直接造成”商业引擎兴起。

2. 复用从公司内部走向跨团队和外部许可

1995 年同期行业报道把 Ken Silverman 的 Build 描述为计划供四个不同团队项目使用的引擎，其开发日志还记录地图视图、资源包、坡面和缓存等运行时与工具演进。[S018–S020] 这说明“引擎”已经不只是渲染算法，而是跨项目运行时、地图编辑和资源格式的组合。

1996 年，Valve 的公司材料明确记载其取得 Quake engine license，开始后来成为《Half-Life》的项目。[S024] 开发工具回顾则说明，团队在 Quake 与 Unreal 等技术之间比较的不只是画面，还包括编辑器、支持与授权条件。[S025] 因而，这一时期最关键的商业变化不是“某家公司第一次卖引擎”，而是：**成熟游戏技术可以作为独立投入品，由另一个团队购买、改造并用于不同作品**。现有报道中的许可金额只是个案估计，不是统一价目表。

3. 编辑器、mod 与源码开放形成不同层次

1998 年《Unreal》手册显示，光盘随附 beta Unreal Level Editor，玩家可以制作新关卡。[S027] 与此同时，PlayStation、Nintendo 64 等主机工具仍受持证开发者、保密与平台审批约束。[S032–S035] 这揭示了延续至今的事实：“跨平台”不仅是技术问题，也是资格、合同和发布治理问题。

1997 年 Doom 的原始源码释放仍带非商业限制；当前仓库已经采用 GPL，但精确重许可节点在研究材料中尚未由可打开的同期公告完全核定。[S031] Quake 代码则在 1999 年 12 月 21 日以 GPL 发布，官方说明仍把游戏数据排除在外。[S028–S029] 因此，“源代码开放”“游戏资产开放”“编辑器随盘”“商业授权”是四件不同的事。

本期四维小结

- **技术能力**：3D 运行时、资源格式、联网分支和 API 后端逐步组成可识别系统。
- **生产方式**：地图编辑器、编译工具和 mod 流程进入项目乃至玩家侧。
- **商业模式**：内部技术与外部项目许可并存，旧代码后来又可能以自由软件许可证发布。
- **生态影响**：PC mod 与源码社区扩大；主机生态仍由平台资格和合同控制。

三、2000 年代：中间件、资产管线与跨平台抽象成为中心

1. 可编程 GPU 增强能力，也增加复杂度

微软 2002 年的 DirectX 9 Beta 公告把 vertex/pixel shader 2.0 和 HLSL 列入接口。[S036] 可编程着色让材质和光照不再完全固定，但它不是自动赠送给每个游戏的效果：引擎必须建立 shader 管理、材质编辑、资源变体和不同硬件路径。2004 年《Doom 3》的技术文档与独立源码分析可见统一逐像素光照、深度/逐光源 pass、VBO 和 stencil shadow 等渲染组织。[S042, S044–S046] 这些是渲染子系统的重要演进，不代表整代引擎只有画面价值。

2. “一次做内容，多端交付”成为卖点，但不是魔法

2004 年的合作方公告把 RenderWare Platform/Studio 放在 PlayStation 2、Xbox、GameCube 与 PC 语境中，并以 Mobile 对接 OpenGL ES 与 N-Gage。[S051–S053] Crytek 2002 年公告则已把 CryENGINE 表述为包含渲染、脚本/原型、网络、物理与音频的可许可运行时；该页面在前一轮曾成功读取、复核时返回 403，故本文把产品定位列为中等置信而不扩写市场规模。[S048–S049]

跨平台引擎的真正价值，是把各平台差异集中进后端、构建与资产管线，使同一项目不必完全重写。它的限制也同样重要：目标平台列表不表示所有版本同日发布、功能完全相同或性能无需调优；主机依然要求平台资格，移动和网页又各有运行环境与商店政策。

3. 编辑器与 SDK 变成引擎的生产中枢

Source 于 2004 年 10 月随《Counter-Strike: Source》进入部署语境；11 月 5 日，Valve 通过 Steam 发布 Source SDK Tools，包括 Hammer、模型查看器和编译工具，12 月更新又加入

Faceposer 等。[S039–S041] Source 的意义因此不仅是某套渲染代码，而是**游戏部署、持续工具、mod 创作与 Steam 分发环境的结合**。

原始《Unreal》到 UE2/UE3 的历史也体现“演示、开发者可得、作品采用、正式版本”不能压成一个发布日期。UE3 可安全使用的锚点是：2004 年展示、2005 年随 PlayStation 3 SDK 提供评估许可入口、2007 年出现旗舰作品，而不是强造一个证据不足的唯一“发布日”。[S037; X012–X015]

4. 收购说明引擎已成为产业基础设施

EA 在 2004 年宣布收购 Criterion/RenderWare 时，明确承诺继续向其他开发者许可；同期独立报道也记录了这一点。[S054–S055] EA 后来的内部访谈称，收购后仍在 RenderWare 3.x 基础上建设共享技术。[S056] 所以“收购当天 RenderWare 立即停售并消失”与证据不符；但现有材料也不足以确认外售何时、因何收缩。更稳妥的**综合判断**是：跨平台中间件已重要到足以被大型发行商视为组织级资产，而供应商归属又会影响客户对长期中立性、支持和路线图的判断。

网页端此时也出现两条不同路径：Unity 2006 年的 Web Player 是浏览器插件；Mozilla 与 Khronos 2009 年发起 WebGL，目标是通过 JavaScript/OpenGL ES 路径实现免插件的硬件加速 3D。[S063, S065–S066] “插件发布”与“开放网页标准”不能合并为同一阶段。

本期四维小结

- **技术能力**：可编程着色、网络、物理、音频和多后端组成更完整的运行时。
- **生产方式**：资产导入、地图/材质工具、构建和 SDK 文档成为效率中心。
- **商业模式**：项目许可、专业中间件、收购与内部共享技术并行。
- **生态影响**：引擎连接 PC、主机、移动和网页，但每个平台仍有独立治理边界。

四、2010 年代：引擎大众化，并延伸为市场与在线服务

1. 低入口成本和资产市场改变“谁能做游戏”

2010 年 Unity 3.0 的公告把 Android、iPad、PlayStation 3 等目标与既有 PC、网页、Wii、iPhone、Xbox 360 路径并列；同年 11 月，Asset Store 上线，开发者可在编辑器内获取和交易脚本、美术、库、教程与工作流资产。[S067–S068, S070] 这不只是“支持更多平台”，还改变了团队边界：小团队可以购买通用系统和内容，而不是从零制造所有工具与资产。

2014 年 UE4 以每月 19 美元加 5% 总收入版税的方案，对外提供完整工具与许可下的 C++ 源码访问；2015 年又取消月费、保留版税。[S071; X017–X019] 2015 年 Unity 5 Personal 则以免费、完整编辑器/引擎且不抽营收为核心卖点。[S079] “免费”在这些案例中通常表示降低前置成本，并不自动等于无条件、无版税或开源。

同一时期，Godot 提供了制度上不同的对照：项目在 2014 年 1 月公开 MIT 源码，12 月才到 1.0 稳定版。[S072–S073] 公开源码和稳定发布是不同事件；Godot 的 MIT 开源也不能与 Unreal 的许可账户源码、CryENGINE 的专有 source-available 混为一谈。

2. 组件化、脚本化与多角色协作

现代项目越来越难由单一继承树和巨型脚本管理。组件化让“位置、渲染、碰撞、行为”等能力按组合附着到对象；脚本化和可视化脚本则让设计师在不重编全部引擎的情况下调整规则。Unreal 的 Blueprint 是类型化节点系统，C++ 类可向其暴露功能；它体现的是程序员与内容创作者协作，而不是“蓝图替代 C++”。[S080-S082]

数据导向的实体组件系统（ECS）进一步把数据布局与批处理效率放到中心。不过，Unity Entities 1.0 在 2023 年才获得 production-supported 的版本语义，而且不应被写成全面替代 GameObject；这项材料正文访问有限，本文只把它作为跨期架构趋势，不宣称已普及或带来统一生产率提升。[X038-X039]

图 2 | “游戏引擎”系统边界如何逐层外扩。 底层运行时没有消失，新增的是对象/逻辑、生产工具、平台交付以及生态服务层。来源：SCUMM [S010-S012]、Build [S018-S020]、Source SDK [S039-S040]、Unity Asset Store/服务 [S068, S070, S077]、Unreal 工具与 Blueprint [S080-S082]、Omniverse [S093]，以及各案例综合。原创绘制。

3. 移动、网页与服务把引擎推向项目全生命周期

Apple 2014 年推出 Metal，Khronos 2016 年发布 Vulkan 1.0；这些低开销、显式控制的 API 为引擎增加了后端选择，也增加了适配与测试面。[S074-S076] 浏览器方面，Chrome 在 2015 年从默认禁用走向移除 NPAPI，并把 WebGL 列为替代技术之一。[S078] 平台政策与开放标准共同推动插件式发布退场，但不能把这一变化归因于单一事件。

2014 年，Unity 已把 Cloud Build、Ads 与 Everyplay 纳入“Create and Connect”服务叙事。[S077] 引擎由此不再只解决“如何运行”，还试图覆盖持续构建、分发、获客和玩家内容。这种服务化让小团队获得现成基础设施，也把更多项目环节绑定到厂商账户、服务可用性与条款上。

本期四维小结

- **技术能力：**组件/脚本、显式图形 API 和多端后端并存。
- **生产方式：**可视化脚本、资产市场和云构建降低跨专业协作成本。
- **商业模式：**订阅、免费层、版税、资产抽成和在线服务构成组合收入。
- **生态影响：**更多个人和小团队进入开发，但也更依赖平台条款、账户与商店。

五、2020—2026：实时 3D 平台化、开放生态与生成式 AI 辅助

1. 画面技术的重点转向几何规模、动态光照与多 API 光追

UE5 的历史需要分三层写：2020 年首次展示，2021 年 Early Access，2022 年 4 月 5 日正式可用；Nanite 与 Lumen 是正式版的核心能力，但不同平台支持与性能不能视为完全相同。[X022-X025] 现有 Epic 旧页面多受 403 限制，所以本文保留状态与日期，不扩写未经核验的效果数字。

2020 年，微软发布含 DXR 1.1 的 DirectX 12 Ultimate；同年 11 月，Khronos 发布 Vulkan 光线追踪最终规范。[S090-S091] 这些是 API 层史实。驱动/GPU 部署、引擎接入、工具成熟和游

戏实际采用仍是四个不同层次，不能从“规范完成”直接推导“实时光追已经成为所有项目默认选项”。

2. 从游戏工具到“实时 3D 平台”

NVIDIA Omniverse Enterprise 于 2021 年 11 月进入 GA，定位为分布式 3D 团队协作和工业/基础设施数字孪生平台。[S093] Unity 也在 2023 年推出 Industry 产品，并把 Cloud 置于 early access 阶段；两者成熟度不同，且相关正文材料有限。[X040-X041] 这些产品的存在支持一个综合判断：游戏引擎积累的实时渲染、场景描述、资产转换和交互能力，正在被包装为影视虚拟制作、设计评审、仿真和数字孪生基础设施。

但“进入其他行业”不等于已经创造可量化的普遍 ROI。研究材料缺少独立采用率、迁移成本与生产率数据，因此本文不写“整个产业已迁移到实时 3D”。

3. 开放生态不是单一开源刻度

证据：案例综合 CS-ID / CS-UE / CS-UN / CS-SRC / CS-CRY / CS-RW；参见 draft.md 对应引文。

图 3 | 六条引擎路径：技术产品与商业制度的组合。 颜色区分类别，不表示优劣或开放程度排名。来源：id [S024, S028-S029, S031, S042, S044-S047, S118-S119]；Unreal [S026-S027, S037, S071, S080-S082]；Unity [S067-S068, S070, S077, S079, S083-S085, S095-S096, S101-S106]；Source [S038-S041, S107-S113]；CryENGINE [S048-S049, S086-S089, S115-S117, S120]；RenderWare [S051-S057]。原创绘制。

图 3 说明，“开放”至少包含四种互不等价的制度：

1. 自由/开源软件许可证，如旧 Quake 代码的 GPL、Godot 的 MIT；
2. 许可账户下源码可见，如 Unreal，可修改但受商业许可约束；
3. 专有 source-available，如 CryENGINE。Crytek 2022 年明确称其不是开源软件，并把新源码转入注册开发者私库；[S115-S117]
4. 工具或 UGC 接口开放，而核心平台仍受宿主治理，如 Source 工具、Workshop、UEFN 或 Roblox 创作环境。

因此，2020 年代的“开放生态”不是所有代码都开放，而是引擎通过插件、资产、模板、mod、UGC 发布和创作者经济开放更多参与接口，同时保留许可、审核、分发和收益规则的控制点。Source 2 在 2015 年被 Valve 宣布对 content developers 免费并宣布 Vulkan-compatible 版本，但这不等于一般公开下载、开放源码或无条件商业许可。[S107-S114]

4. 商业条款成为生态信任的一部分

Unity 的 Runtime Fee 事件清楚显示：当引擎贯穿资产、构建、发布和长期维护，定价不只是采购问题，也是技术风险。稳健时间线是：2023 年提出并在 9 月 22 日修订方案，2024 年 9 月 12 日取消，10 月删除条款文字；公司后续明确该费用从未实施。[S101-S106] 现有证据不足以把任何市场迁移单独归因于此事件，但它说明开发者会把条款可预期性视作平台能力的一部分。

CryENGINE 的路径也说明商业标签随时间变化：2016 年是“Pay What You Want”、完整源码、无版税；2022 年转为私有仓库且明确非开源；截至 2026 年 8 月 17 日，现行游戏许可页列出 5% 版税及每项目每年前 5,000 美元免版税范围。[S088, S115-S117] 历史条款不可用现行页面倒灌。

5. 生成式 AI：目前是 workflow 助手，不是自动游戏工厂

2023 年，Roblox 先发布生成式 AI 创作愿景，后宣布 Assistant 分阶段推出；UEFN 同年以 public Beta 连接 Fortnite 体验的编辑与发布。[X028, X048-X049] 到 2026 年，更稳妥的描述是：生成式 AI 正被接入代码补全、脚本解释、材质/纹理原型、场景摆放、文档检索和测试辅助等环节。它延续了引擎史的长期方向——把专业能力包装成更高层接口，使创作者更快试错。

这段属于**前瞻趋势**，不是已证成效。现有材料多为厂商公告、产品元数据和愿景，缺少独立的质量、返工率、版权风险、长期维护成本与创作者收益研究。因此本文不采用“AI 已替代程序员/美术”“一句话生成完整商业游戏”等说法。更可能的近期形态是：AI 生成候选结果，人类在引擎编辑器、版本控制、性能预算和平台合规约束下筛选、修正与验证。

6. WebGPU 与跨端未来：新的后端，不是旧标准的瞬间终结

W3C 于 2024 年发布 WebGPU 与 WGSL 的首个 Candidate Recommendation Snapshots；这不是最终 Recommendation，也不表示所有浏览器和设备已经一致支持。[S094] PlayCanvas 等网页引擎已提供 WebGPU 路径并保留 WebGL2 fallback，但相关材料在本轮只获得元数据，故只作为实现线索。[X045-X047] 截至 2026 年，合理趋势是 WebGPU 扩大浏览器内现代 GPU 能力，而 WebGL 在兼容性场景继续存在。

本期四维小结

- **技术能力**：虚拟化几何、动态全局光照、光追 API、ECS 与现代网页 GPU 后端继续发展。
- **生产方式**：云协作、宿主 UGC 和 AI 助手把编辑器变成多人、多角色、持续反馈的工作台。
- **商业模式**：版税、订阅、企业产品、云服务和创作者经济并存；条款稳定性本身成为竞争维度。
- **生态影响**：实时 3D 能力扩展到影视与工业；开放接口增加参与者，同时把治理权集中到引擎、商店和宿主平台。

六、把五十年压成一句话：引擎演进的是“可复用边界”

如果只看画面，游戏引擎史会被写成从 2D 到 3D、从光栅到光追的性能竞赛。把技术能力、生产方式、商业模式和生态影响放在一起，主线更清楚：

1. **前史**把内容与程序初步拆开，出现构造套件和脚本运行时；
2. **1990 年代**使技术成为可命名、可授权、可随工具传播的产品；
3. **2000 年代**用中间件、资产管线和平台后端组织日益复杂的 3D 生产；
4. **2010 年代**以低门槛编辑器、资产市场、移动/网页和在线服务扩大参与范围；
5. **2020 年代**进一步连接云协作、实时 3D 行业应用、宿主 UGC 与生成式 AI 辅助。

这不是旧模式被新模式整齐替换的阶梯。专用引擎、内部技术、商业通用引擎、框架、开源项目与宿主创作平台至今并存。选择引擎也不只是选择一组渲染功能，而是在选择一整套**技术架构、生产流程、平台入口、许可证与长期生态关系**。

证据边界与尚未完全解决的缺口

本文在事实复核中处理了以下关键风险：

- 不使用无限定“第一个完整游戏引擎”；Freescape 的“首款”只限定采用该命名技术的游戏。
- 不把 OpenGL、Direct3D、Metal、Vulkan、WebGL/WebGPU 或光追规范当作完整引擎。
- 不把展示、Beta/Early Access、正式发布、首款采用与规范定稿混成同一日期。
- 不把源码可见、GPL/MIT 开源、编辑器随盘和游戏资产权利混称“开放源码”。
- 不把 RenderWare 被 EA 收购写成“当天停售”，也不虚构外售终止日。
- 不把 Unity Runtime Fee 写成已实施收费；时间线写为提案、修订、取消且未实施。
- 不把跨平台目标列表写成各端功能、性能与许可完全一致。

仍需明确保留的缺口：

1. Doom 从 1997 非商业源码释放到后续 GPL 的精确同期重许可节点未完全核定；
2. UE2/UE3 的旧官方页面、UE5 三阶段页面和 UEFN 公告多受 403 或仅有元数据，本文只采用可交叉的状态锚点；
3. RenderWare 第三方外售何时、因何收缩仍缺正式公告、合同与收入序列；
4. ECS、云协作、数字孪生、UGC 和生成式 AI 的产业采用率、生产率、ROI 与创作者收益缺独立量化证据；
5. WebGPU 的标准、浏览器部署和引擎实现进度不同步，不能写成已全面取代 WebGL。

参考资料

仅列正文与图注实际使用的资料。访问日统一为 **2026-08-17**。S 类为已实际打开或下载读取的来源；X 类为仅获摘要、元数据或访问受阻的来源，只承担受限背景或状态线索，不单独支撑关键结论。

已实际打开或下载读取

- [S001] Atari Computer Museum. *Atari 2600 / Atari VCS*. <https://atari-computermuseum.de/2600.htm>
- [S003] Nintendo UK. *Nintendo History*. <https://www.nintendo.com/en-gb/Hardware/Nintendo-History/Nintendo-History-625945.html>
- [S004] Hirohisa Komanome. *Donkey Kong: A Record of Struggle*. <https://shmuplations.com/donkeykong/>
- [S005] Bill Budge / GDC Vault. *Classic Game Postmortem: Pinball Construction Set*. <https://gdcvault.com/play/1019055/Classic-Game-Postmortem-Pinball-Construction>
- [S006] The Strong. *Bill Budge, Pinball Construction Set, and the Popularization of User-Customized Video Games*. <https://www.museumofplay.org/blog/bill-budge-pinball-construction-set-and-the-popularization-of-user-customized-video-games/>

- [S007] *Elite on the 6502* code archive. <https://elite.bbcelite.com/>
- [S008] ACMI. *Elite*. <https://www.acmi.net.au/works/122601--elite/>
- [S009] Alison Gazzard. *The Platform and the Player: exploring the (hi)stories of Elite*. <https://www.gamestudies.org/1302/articles/agazzard>
- [S010] Lucasfilm. *Lucasfilm Originals: SCUMM*. <https://www.lucasfilm.com/news/lucasfilm-originals-scumm/>
- [S011] Game Developer. *GDC 2011: Ron Gilbert's Maniac Mansion Memories*. <https://www.gamedeveloper.com/game-platforms/gdc-2011-ron-gilbert-s-odd-collection-of-i-maniac-mansion-i-memories>
- [S012] Game Developer. *The SCUMM Diary*. <https://www.gamedeveloper.com/design/the-scumm-diary-stories-behind-one-of-the-greatest-game-engines-ever-made>
- [S013] Ian Andrew. *Driller*. <https://ianandrew.com/copy-of-splat>
- [S014] Centre for Computing History. *Incentive Software archive listing*. <https://www.computinghistory.org.uk/cgi/archive.pl?platform=Amstrad&publisher=Incentive+Software&type=Games>
- [S016] Khronos Group. *Khronos Timeline*. <https://www.khronos.org/about/timeline/>
- [S017] John Carmack. *Carmack on OpenGL* (.plan 转 录). <https://rmitz.org/carmack.on.opengl.html>
- [S018] Game Developer. *The Sultans of Shareware Go Retail* (1995-02). https://media.gdcvault.com/GD_Mag_Archives/GDM_FebMar_1995.pdf
- [S019] Ken Silverman. *Build Engine Page*. <https://advsys.net/ken/build.htm>
- [S020] Ken Silverman. *Build Engine Source Code Page*. <https://advsys.net/ken/buildsrc/default.htm>
- [S021] Microsoft. *Microsoft Ships Direct3D* (1996-06-13). <https://news.microsoft.com/source/1996/06/13/microsoft-ships-direct3d/>
- [S024] Valve. *New Employee Handbook*. https://cdn.akamai.steamstatic.com/apps/valve/Valve_NewEmployeeHandbook.pdf
- [S025] Game Developer. *Classic Tools Retrospective: The tools that built Deus Ex*. <https://www.gamedeveloper.com/design/classic-tools-retrospective-the-tools-that-built-deus-ex-with-chris-norden>
- [S026] Game Developer. *Tim Sweeney on the First Version of the Unreal Editor*. <https://www.gamedeveloper.com/design/classic-tools-retrospective-tim-sweeney-on-the-first-version-of-the-unreal-editor>
- [S027] GT Interactive / Epic MegaGames. *Unreal manual*. <https://oldunreal.com/guides/Unreal%20manual.pdf>
- [S028] Shacknews. *Quake Source Released* (1999-12-21). <https://www.shacknews.com/article/3555/quake-source-released>

- [S029] id Software. *Quake* GPL Source Release.
<https://github.com/id-software/quake>
- [S031] id Software. *DOOM* Open Source Release.
<https://github.com/id-software/doom>
- [S032] Nintendo of America / THQ. *Nintendo 64 License Agreement* (1997-05-09).
<https://contracts.onecle.com/thq/nintendo.lic.1997.05.09.shtml>
- [S033] WIPO. *How Intellectual Property Laws Shaped the PlayStation*.
<https://www.wipo.int/edocs/infogdocs/playstation/en/>
- [S034] Microsoft/Softimage. *Softimage Enhances Game Development for PlayStation*. <https://news.microsoft.com/source/1997/05/06/softimage-continues-to-further-enhance-game-development-for-playstation-game-console/>
- [S035] Microsoft/Softimage/Nintendo. *Softimage and Nintendo Team...*
<https://news.microsoft.com/source/1997/04/28/softimage-and-nintendo-team-to-help-developers-create-hit-video-games/>
- [S036] Microsoft. *DirectX 9.0 Beta 1*.
<https://news.microsoft.com/source/2002/05/30/microsoft-releases-beta-version-1-of-directx-9-0-to-partners-beta-testers/>
- [S037] Sony Computer Entertainment. *Strategic Licensing Agreement with Epic Games* (2005-07-21). <https://sonyinteractive.com/en/press-releases/2005/sony-computer-entertainment-enters-into-strategic-licensing-agreement-with-epic-games/>
- [S038] Valve / Steam. *Half-Life 2*.
https://store.steampowered.com/app/220/halflife_2/
- [S039] Valve. *Source SDK Tools Available Now* (2004-11-05).
<https://store.steampowered.com/news/340/>
- [S040] Valve. *Source SDK Update Released* (2004-12-20).
<https://store.steampowered.com/news/382/>
- [S041] Guinness World Records. *Source engine record entry*.
<https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/87943-first-game-engine-optimized-for-64-bit-processors>
- [S042] Activision. *DOOM 3 for PC Ships to Retail* (2004-08-03).
<https://investor.activision.com/news-releases/news-release-details/raising-hell-id-softwares-doom-3-pc-ships-retail>
- [S044] id Software SDK. *Lighting*.
<https://iddevnet.dhewm3.org/doom3/lighting.html>
- [S045] Fabien Sanglard. *Doom 3 Source Code Review: Renderer*.
<https://fabiensanglard.net/doom3/renderer.php>
- [S046] Cass Everitt; Mark J. Kilgard. *Practical and Robust Stenciled Shadow Volumes*. <https://arxiv.org/abs/cs/0301002>
- [S047] id Software. *Doom 3* GPL Source Release.
<https://github.com/id-Software/DOOM-3>

- [S048] Crytek. *Crytek announces its Game Engine CryENGINE* (2002-05-02; 曾打开, 复核时 403). <https://www.crytek.com/news/crytek-announces-its-game-engine-cryengine>
- [S049] Crytek. *Crytek to attend I/ITSEC 2008*. <https://www.crytek.com/news/crytek-attend-its-2008-orlando-florida>
- [S051] Khronos. *OpenGL ES Mobile Graphics API Demonstrates Industry-Wide Acceptance*. <https://www.khronos.org/news/press/opengl-es-mobile-graphics-api-demonstrates-industry-wide-acceptance>
- [S052] Autodesk/Discreet. *Support for RenderWare Mobile Gaming Format*. <https://investors.autodesk.com/news-releases/news-release-details/discreet-first-announce-support-latest-3d-mobile-gaming-format>
- [S053] Nokia. *RenderWare Moves To Support N-Gage*. <https://www.globenewswire.com/news-release/2004/05/10/1847090/0/en/Renderware-Moves-To-Support-N-GageTM-Platform.html>
- [S054] Electronic Arts. *EA to Acquire Criterion*. <https://www.nintendoworldreport.com/pr/9757/ea-acquires-criterion>
- [S055] The Register. *EA swallows Criterion Software* (2004-07-29). <https://www.theregister.com/on-prem/2004/07/29/ea-swallows-criterion-software/1229558>
- [S056] EA/Frostbite. *In Their Own Words: Alex Fry*. <https://www.ea.com/frostbite/amp/news/frostbite-software-engineer-alex-fry>
- [S057] Game Developer. *EA Announces Multi-Title Unreal Engine 3 License*. <https://www.gamedeveloper.com/game-platforms/electronic-arts-announces-multi-title-unreal-engine-3-license>
- [S063] David Helgason / Unity. *Windows Web Player beta* (曾打开, 复核时 403). <https://discussions.unity.com/t/windows-web-player-beta/374043>
- [S065] Mozilla. *Mozilla and Khronos Announce Accelerated 3D Web Initiative*. <https://blog.mozilla.org/en/mozilla/mozilla-and-the-kronos-group-announce-initiative-to-bring-accelerated-3d-to-the-web/>
- [S066] Khronos. *Khronos Details WebGL Initiative* (2009-08-04). <https://www.khronos.org/news/press/khronos-webgl-initiative-hardware-accelerated-3d-graphics-internet>
- [S067] Unity. *Unity Technologies Unveils Third Generation*. <https://unity.com/fr/news/unity-technologies-unveils-third-generation-its-powerful-development-platform>
- [S068] Unity. *Launches Unity Asset Store* (2010-11-10). <https://unity.com/ja/news/unity-technologies-launches-3rd-party-marketplace-unity-asset-store>
- [S070] The Register. *Unity 3D game kit opens digital tool store*. https://www.theregister.com/2010/11/10/unity_asset_store/

- [S071] TechCrunch. *Epic Licenses UE4 for \$19 a Month* (2014-03-19).
<https://techcrunch.com/2014/03/19/epic-games-tries-something-new-licenses-all-of-unreal-engine-4-for-19-a-month/>
- [S072] Godot Engine. *First public release!* (2014-01-14).
<https://godotengine.org/article/first-public-release/>
- [S073] Godot Engine. *Godot Engine reaches 1.0* (2014-12-15).
<https://godotengine.org/article/godot-engine-reaches-1-0/>
- [S074] Apple. *Apple Releases iOS 8 SDK*.
<https://www.apple.com/sg/newsroom/2014/06/02Apple-Releases-iOS-8-SDK-With-Over-4-000-New-APIs/>
- [S075] Apple Developer. *Working with Metal: Overview*.
<https://developer.apple.com/videos/play/wwdc2014/603/>
- [S076] Khronos. *Khronos Releases Vulkan 1.0 Specification* (2016-02-16).
<https://www.khronos.org/news/press/khronos-releases-vulkan-1-0-specification>
- [S077] Unity. *Create and Connect*. <https://unity.com/news/unity-unveils-future-plans-empowers-developers-create-and-connect>
- [S078] Chromium Projects. *NPAPI deprecation: developer guide*.
<https://www.chromium.org/developers/npapi-deprecation/>
- [S079] Unity. *Unity 5 Is Here*. <https://unity.com/cn/news/unity-5-here>
- [S080] Epic. *Blueprints Visual Scripting*.
<https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine?lang=en-US>
- [S081] Epic. *Tools and Editors in Unreal Engine*.
<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/tools-and-editors-in-unreal-engine>
- [S082] Epic. *Blueprint Visual Scripting Overview*.
<https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/overview-of-blueprints-visual-scripting-in-unreal-engine>
- [S083] Unity. *Evolution of our products and pricing*.
<https://unity.com/blog/news/evolution-of-our-products-and-pricing>
- [S084] Unity. *Subscription! Why?*. <https://unity.com/blog/subscription-why>
- [S085] Unity. *Updated Terms of Service and Commitment to Being an Open Platform*. <https://unity.com/blog/news/updated-terms-of-service-and-commitment-to-being-an-open-platform>
- [S086] Crytek. *An update on our Sandbox interface and the legacy editor*.
<https://www.cryengine.com/news/view/an-update-on-our-sandbox-interface-and-the-legacy-editor>
- [S087] Crytek. *CRYENGINE Features: Sandbox*.
<https://www.cryengine.com/features/view/sandbox>

- [S088] Crytek. *Introducing CRYENGINE V* (2016-03-17).
<https://www.cryengine.com/news/view/introducing-cryengine-v-a-letter-to-our-community>
- [S089] EA. *Crysis 1 Arrives on Consoles*. <https://www.ea.com/news/crysis-1-arrives-on-consoles>
- [S090] Microsoft DirectX Blog. *Announcing DirectX 12 Ultimate*.
<https://devblogs.microsoft.com/directx/announcing-directx-12-ultimate/>
- [S091] Khronos. *Vulkan Ray Tracing Final Specification Release* (2020-11-23).
<https://www.khronos.org/blog/vulkan-ray-tracing-final-specification-release>
- [S093] NVIDIA. *Expanded Omniverse Ecosystem* (2021-11-09).
<https://blogs.nvidia.com/blog/expanded-omniverse-ecosystem/>
- [S094] W3C. *W3C invites implementations of WebGPU and WGSL* (2024-12-19).
<https://www.w3.org/news/2024/w3c-invites-implementations-of-webgpu/>
- [S095] Unity. *Unity 6 launches today!* (2024-10-17).
<https://unity.com/blog/introducing-unity-6-launch>
- [S096] David Helgason / Unity. *Unity 1.0 is shipping* (2005-06-06).
<https://discussions.unity.com/t/unity-1-0-is-shipping/372991>
- [S101] Unity. *An open letter to our community* (2023-09-22).
<https://unity.com/blog/an-open-letter-to-our-community>
- [S102] Unity. *Unity is canceling the Runtime Fee* (2024-09-12).
<https://unity.com/blog/unity-is-canceling-the-runtime-fee>
- [S103] Unity. *Terms Update: Runtime Fee Cancellation* (2024-10-10).
<https://unity.com/blog/terms-update-runtime-fee-cancellation>
- [S104] Unity / SEC. *Q3 2024 Shareholder Letter*.
<https://www.sec.gov/Archives/edgar/data/1810806/000181080624000225/a2024q3shletter.htm>
- [S105] Unity. *Update to the Unity Editor Software Terms*.
<https://unity.com/blog/news/unity-editor-software-terms-update>
- [S106] Unity. *Plan Pricing and Packaging Updates* (页面日期冲突, 且已标 outdated) . <https://discussions.unity.com/t/unity-plan-pricing-and-packaging-updates/927079>
- [S107] Valve. *Valve Announces Source 2* (2015-03-03).
https://store.steampowered.com/oldnews/?appgroupname=Valve&enddate=1433142000&feed=steam_press
- [S108] Valve / Dota 2. *Coming Soon: The Reborn Update*.
https://store.steampowered.com/news/posts/?appids=570%29&enddate=1441765176&feed=steam_community_announcements
- [S109] Valve. *Dota 2 Reborn update log*. <https://www.dota2.com/reborn/updates>
- [S110] Valve. *Dota 2 Reborn — New Engine*. <https://www.dota2.com/reborn/part3/>
- [S111] Valve. *Dota 2 Reborn — Custom Games*.
<https://www.dota2.com/reborn/part2/?l=english>

- [S112] Valve. *Steam Subscriber Agreement* (现行协议 , 不倒灌历史) .
https://store.steampowered.com/subscriber_agreement/?curator_clanid=42752699
- [S113] Valve Steamworks. *Distributing Source Engine Games / Mods*.
https://partner.steamgames.com/doc/sdk/uploading/distributing_source_engine?l=english
- [S114] Khronos. *Khronos Reveals Vulkan API*.
<https://www.khronos.org/news/press/khronos-reveals-vulkan-api-for-high-efficiency-graphics-and-compute-on-gpus>
- [S115] Crytek. *CRYENGINE 5.7 LTS Release Date Announcement* (2022-03-30).
<https://www.cryengine.com/news/view/cryengine-5-7-lts-release-date-announcement>
- [S116] Crytek. *CRYENGINE Legacy Versions Deprecated*.
<https://www.cryengine.com/news/view/cryengine-legacy-versions-deprecated>
- [S117] Crytek. *CRYENGINE Licensing* (截至访问日) .
<https://www.cryengine.com/support/view/licensing>
- [S118] Bethesda/id. *Powering DOOM with id Tech 6*.
<https://bethesda.net/en-US/news/powering-doom-with-id-tech-6>
- [S119] Bethesda/id. *DOOM – Vulkan Support Now Live* (2016-07-11).
<https://bethesda.net/en-US/news/doom-vulkan-support-now-live>
- [S120] Guinness World Records. *First game to use CryENGINE*.
<https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/383641-first-game-to-use-cryengine>

仅摘要、元数据或访问受阻（受限使用）

仅摘要、元数据或访问受阻（受限使用）

- [X012] GameSpot. *Unreal Engine 3.0 First Look*.
<https://www.gamespot.com/articles/unreal-engine-30-first-look/1100-6092217/>
- [X013] GameSpot. *Unreal Engine 3 set for E3 debut*.
<https://www.gamespot.com/articles/unreal-engine-3-set-for-e3-debut/1100-6096683/>
- [X014] NVIDIA. *Evolution of NV40* (2004).
https://download.nvidia.com/developer/presentations/2004/GPU_BBQ/English_NV_40_Korea.pdf
- [X015] Epic. *Unreal Tournament Series*.
<https://www.unrealengine.com/blog/unreal-tournament-series>
- [X017] Epic. *Epic Games Releases UE4 for All*.
<https://www.unrealengine.com/blog/epic-games-releases-unreal-engine-4-for-all>
- [X018] Epic. *UE4 is free*. <https://www.unrealengine.com/blog/ue4-is-free>

- [X019] GameSpot. *Unreal Engine 4 Now Free for Everyone*. <https://www.gamespot.com/articles/unreal-engine-4-now-free-for-everyone/1100-6425627/>
- [X022] Epic. *A first look at Unreal Engine 5*. <https://www.unrealengine.com/blog/a-first-look-at-unreal-engine-5>
- [X023] Epic. *UE5 Early Access*. <https://www.unrealengine.com/blog/unreal-engine-5-is-now-available-in-early-access>
- [X024] Epic. *UE5 is now available*. <https://www.unrealengine.com/blog/unreal-engine-5-is-now-available>
- [X025] Xbox Wire. *The Coalition Debuts UE5 Tech Test*. <https://news.xbox.com/en-us/2022/04/05/the-coalition-debuts-new-unreal-engine-5-tech-test/>
- [X028] Epic. *Unreal Editor for Fortnite is now available in Beta*. <https://www.unrealengine.com/blog/unreal-editor-for-fortnite-is-now-available-in-beta>
- [X038] Unity. *Unity 2022 LTS is coming in June*. <https://unity.com/blog/engine-platform/unity-2022-lts-is-coming-in-june>
- [X039] Unity Docs. *Entities package*. <https://docs.unity3d.com/kr/2022.3/Manual/com.unity.entities.html>
- [X040] Unity. *Unity Cloud unveiled at Unite 2023*. <https://unity.com/blog/news/unite-2023-keynote-game-development-unity-6>
- [X041] Unity. *Unity releases Unity Industry*. <https://unity.com/news/unity-releases-unity-industry-optimized-offering-enterprises-building-real>
- [X045] Chrome Developers. *WebGPU is now available in Chrome*. <https://developer.chrome.com/blog/webgpu-release>
- [X046] PlayCanvas. *Build WebGPU Apps Today*. <https://blog.playcanvas.com/build-webgpu-apps-today-with-playcanvas/>
- [X047] PlayCanvas. *PlayCanvas Engine hits 2.0.0*. <https://blog.playcanvas.com/playcanvas-engine-hits-2-0-0>
- [X048] Roblox. *Generative AI on Roblox: Our Vision for the Future of Creation*. <https://corp.roblox.com/newsroom/2023/02/generative-ai-roblox-vision-future-creation/>
- [X049] Roblox. *Revolutionizing Creation on Roblox*. <https://about.roblox.com/newsroom/2023/09/revolutionizing-creation-roblox>