

Zobrazenie informácie v počítači (Grafické adaptéry smart zariadení)

Prednášajúci: **Bohdan Rudich**

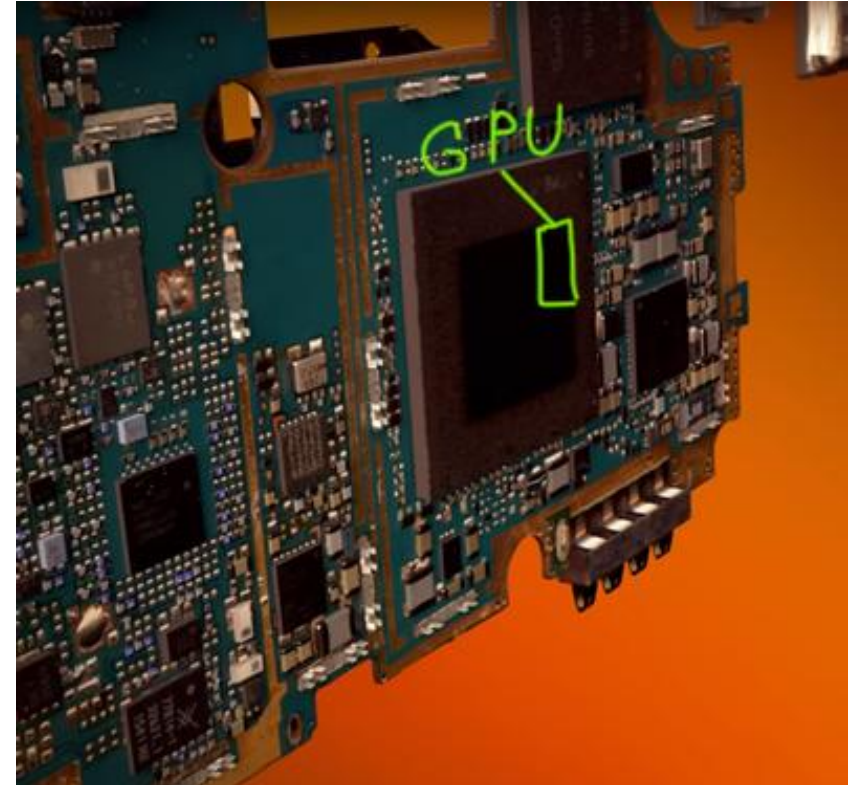
Predmet: **Počítačové architektúry**

Rok: **2. Ročník 2024/25**

GPU nie je len „grafická karta“, ale univerzálna paralelná procesorová jednotka

Úlohy GPU

- grafický renderer
- tréning neurónových sietí
- modelovanie fyziky, matematické problémy



Porovnanie samostatných a integrovaných GPU

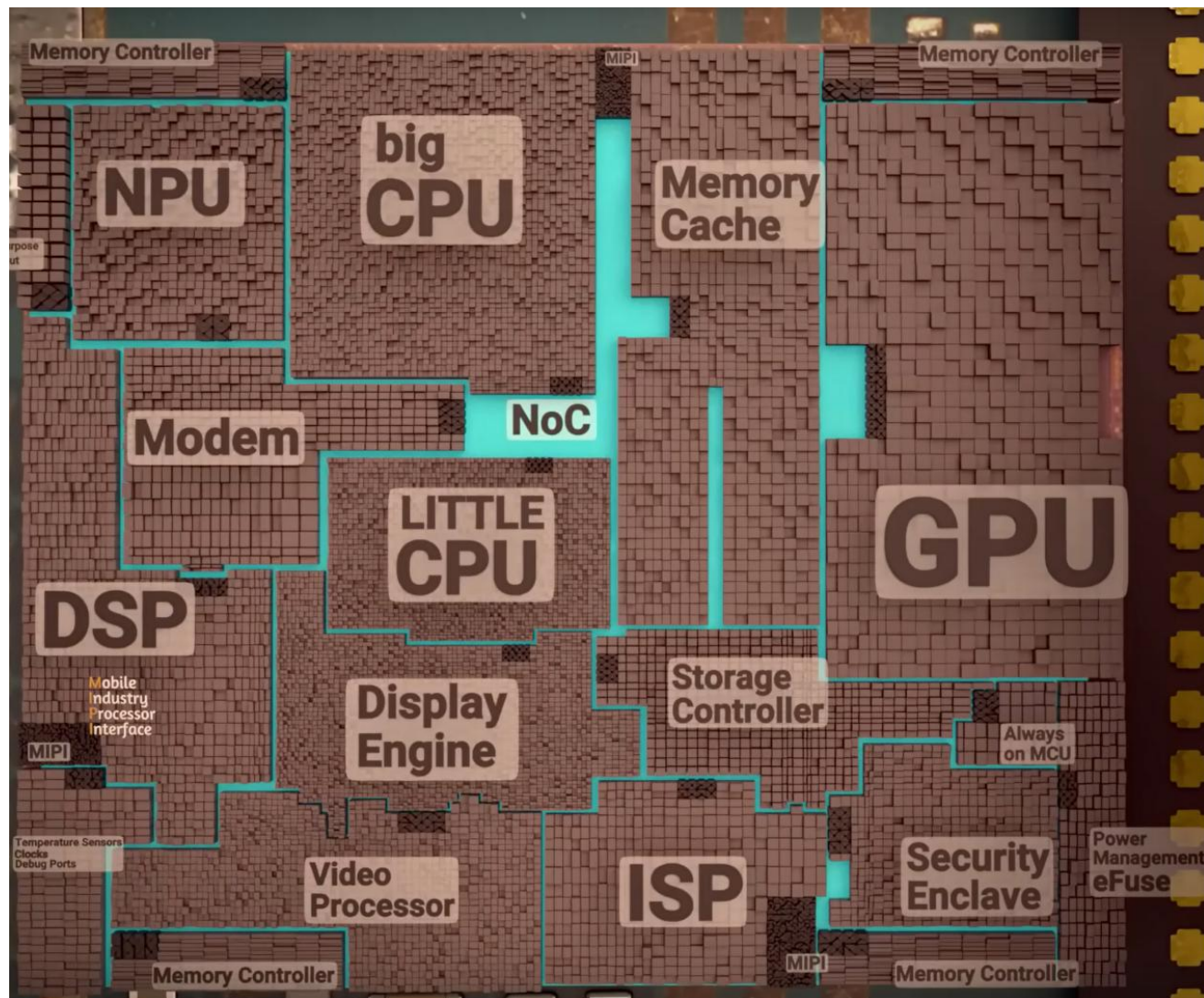
Kritérium	Samostatné GPU	Integrované GPU (v SoC)
Umiestnenie	Samostatný čip na základnej doske	Současť SoC
Pamäť	Vlastná VRAM (GDDR6/GDDR6X)	Zdieľa RAM s CPU (LPDDR5)
Výkon	Vysoký	Obmedzený
Spotreba energie	Vysoká (desiatky až stovky wattov)	Nízka (0.2-10 W)
Chladenie	Aktívne (ventilátory)	Pasívne (tepelné riešenia)

Príklady smart zariadení

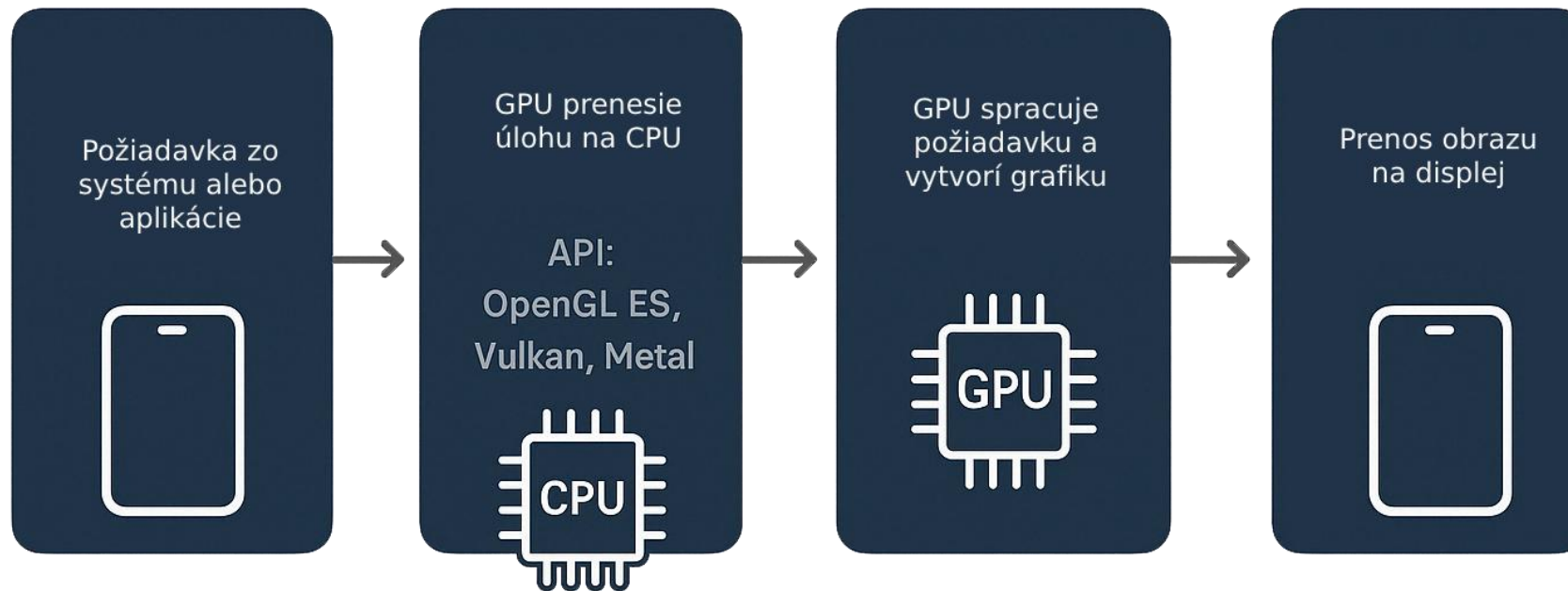
- Mobilné zariadenia
- Inteligentná domácnosť a prvky internetu vecí
- Multimédiá a zábava
- Inteligentná doprava



Príklad SoC v telefóne



Spracovanie obrazu



História rozvoja GPU v mobilných zariadeniach

Rok	Názov GPU	Výrobca	Funkcie a príspevky	Príklad zariadení
2002	ATI Imageon 100	ATI (AMD)	Prvý skutočný GPU pre telefóny (2D grafika, JPEG)	Nokia, Motorola
2004	PowerVR MBX	Imagination Tech.	Prvá 3D akcelerácia v telefónoch	iPhone 2G, Nokia N95
2006	Mali 55	ARM	Prvá séria Mali, základná podpora 3D	Samsung, Sony Ericsson
2007	Adreno 200	Qualcomm (ex ATI)	Integrácia GPU do SoC (Snapdragon)	HTC Hero, Sony Xperia X10
2009	PowerVR SGX series	Imagination Tech.	Pokročilé 3D, podpora OpenGL ES 2.0	iPhone 3GS, iPhone 4
2012	Adreno 320	Qualcomm	Vylepšená spotreba energie, podpora výpočtových shaderov	Nexus 4, Galaxy S4
2014	Mali T760	ARM	Architektúra Midgard, OpenGL ES 3.1	Galaxy A7, Huawei P8 Lite
2016	Apple GPU (A10 Fusion)	Apple	Vlastný GPU spoločnosti Apple, vysoko optimalizovaný	iPhone 7
2018	Mali-G76	ARM	Architektúra Bifrost, rozhranie Vulkan API	Samsung Galaxy S10e
2020	Adreno 650	Qualcomm	Podpora 144 Hz	Galaxy S20, OnePlus 8
2022	Immortalis-G715	ARM	Prvé Mali s hardvérovým sledovačom lúčov (Ray Tracing)	MediaTek Dimensity 9200

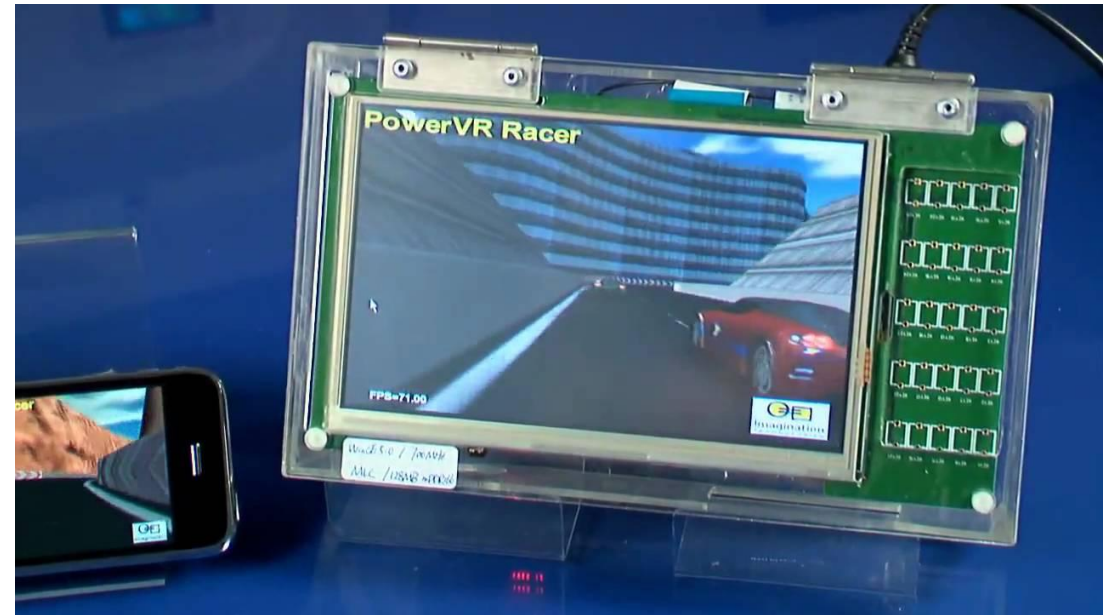
ATI Imageon 100 (2002)

- Bol koprocesorom
- 2D grafické zobrazenie
- Hardvérové dekódovanie
- Spotrebovalo sa približne ~0,05-0,1 W



PowerVR MBX (2004)

- Umožnil 3D grafiku v prvých smartfónoch.
- OpenGL ES bolo prvýkrát implementované v mobilných zariadeniach
- Prvé použitie Tile-Based Deferred Rendering (TBDR)



Adreno 130 (2008)

- Debutový GPU spoločnosti Qualcomm
- Bol použitý v prvom telefóne so systémom Android HTC DREAM
- Bol vyrobený 65nm procesom
- Pracoval na frekvencii približne 133 MHz.
- 1,3 GFLOPS.



Mali-T880 (2016)

Vlastnosti	Mali-T880	Popis
Anti-Aliasing	•4x MSAA •8x MSAA •16x MSAA	Hardvér implementovaný Full Scene Multiple Sample Anti-Aliasing.
Podpora API	•OpenGL[®] ES 1.1, 1.2, 2.0, 3.0, 3.1, 3.2 •Vulkan 1.0 •OpenCL[™] 1.1, 1.2 •DirectX[®] 11 FL11_1	Plná podpora pre novú generáciu a staršie grafické aplikácie 2D/3D.
Rozhranie zbernice	•AMBA[®] 4 •ACE-LITE	Kompatibilné so širokou škálou prepojení zberníc a periférnych IP.
Vyrovnávacia pamäť L2	Konfigurovateľné 256KB-2048KB.	256KB-512KB na každé 4 jadrá shadera.
Pamäťový systém	Virtuálna pamäť.	Zabudovaná jednotka správy pamäte (MMU) na podporu virtuálnej pamäte.
Viacjadrové škálovanie	1 až 16 jadier.	Optimalizované pre vysokú oblasť a energetickú účinnosť, aby vyhovovala požiadavkám trhu mobilných zariadení vyššej kategórie a spotrebiteľských zariadení.
Adaptive Scalable Texture Compression (ASTC)	•Nízky dynamický rozsah (LDR) a vysoký dynamický rozsah (HDR). •Podporuje 2D aj 3D obrazy.	ASTC ponúka množstvo výhod oproti existujúcim schémam kompresie textúr tým, že zlepšuje kvalitu obrazu, znižuje šírku pásma pamäte a tým spotrebu energie.
Kompresia vyrovnávacej pamäte rámu ramena (AFBC)	Veľkosť bloku 4x4 pixelov	AFBC je bezstratový formát kompresie obrázkov, ktorý poskytuje náhodný prístup k údajom o pixeloch s rozlíšením 4x4 pixelov. Používa sa na zníženie šírky pásma pamäte interne v rámci GPU aj externe v rámci SoC.
Odstránenie transakcie	Veľkosť bloku 16 x 16 pixelov	Transaction Elimination rozpoznáva identické bloky pixelov medzi dvoma po sebe idúcimi cieľmi vykresľovania a vykoná čiastočnú aktualizáciu vyrovnávacej pamäte snímok iba so zmenenými blokmi pixelov, čo znižuje šírku pásma pamäte a tým aj energiu.
Inteligentné zloženie	Veľkosť bloku 16 x 16 pixelov	Smart Composition rozširuje koncept eliminácie transakcií na každú fázu zloženia používateľského rozhrania. Identické bloky pixelov vstupných povrchov sa nečítajú, nespracúvajú sa na kompozíciu a nezapisujú sa do vyrovnávacej pamäte konečného snímku.

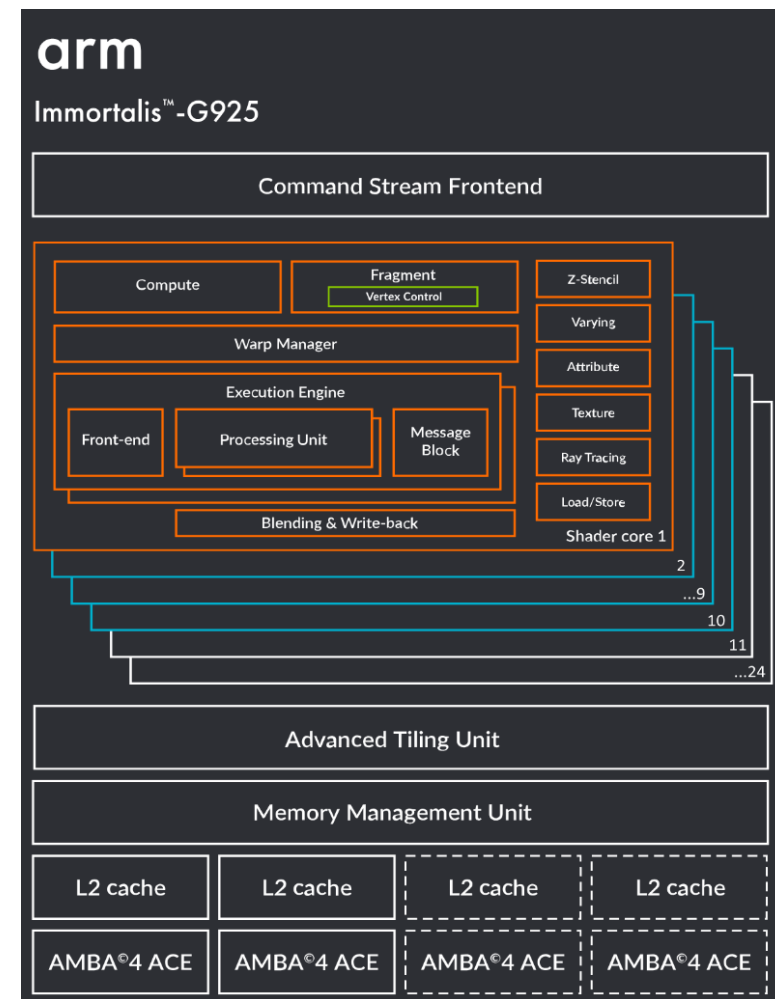
A11 Bionic (2017)

- Prvý vlastný GPU spoločnosti Apple
- 10nm procesná technológia
- Apple Neural Engine (NE) sa v čase svojho vydania stal jedným z najvýkonnejších čipov pre mobilné zariadenia
- optimalizovaný pre MetalNeural Engine umožnil používať pokročilé technológie strojového učenia, ako je Face ID, a spúšťať aplikácie rozšírenej reality.



ARM Immortalis-G925 (2024)

Vlastnosti	Hodnota	Popis
Anti-aliasing	•2x MSAA •4x MSAA •8x MSAA •16x MSAA	2x a 4x Multi-Sampling Anti-Aliasing s minimálnym poklesom výkonu.
podpora API	•OpenGL® ES 1.1, 2.0, 3.2 •Vulkan 1.3 •Plný profil OpenCL™ 1.2, 2.1, 3.0	Plná podpora pre novú generáciu a staršie grafické aplikácie 2D/3D.
Rozhranie zbernice	AMBA®4 ACE, ACE-LITE a AXI	Kompatibilné so širokou škálou prepojení zberníc a periférnych IP.
L2 cache	Konfigurovateľné 512 KB – 4 MB	2 alebo 4 plátky 256K, 512K alebo 1024K.
Škálovateľnosť	10 jadier alebo viac	Konfigurovateľné od 10 jadier alebo viac poskytujúcich pokročilé možnosti výkonu GPU.
Adaptive Scalable Texture Compression (ASTC)	Nízky dynamický rozsah (LDR) a vysoký dynamický rozsah (HDR). Podporuje 2D aj 3D obrazy.	ASTC ponúka niekoľko výhod oproti existujúcim schémam kompresie textúr tým, že zlepšuje kvalitu obrazu, znižuje šírku pásma pamäte a tým spotrebu energie.
Kompresia vyrovnávacej pamäte rámu ramena (AFBC)	•Verzia 1.3.2 •Veľkosť bloku 4x4 pixelov	AFBC je bezstratový formát kompresie obrázkov, ktorý poskytuje náhodný prístup k údajom o pixeloch s rozlíšením 4x4 pixelov. Používa sa na zníženie šírky pásma pamäte interne v rámci GPU aj externe v rámci SoC.
Arm Fixed Rate Compression (AFRC)	•Verzia 1.0 •Veľkosť bloku 4x4 pixelov	AFRC je stratový formát kompresie obrazu. AFRC možno použiť na kompresiu externých vstupov textúr a výstupov framebufferu z GPU. Konfigurovateľný kompresný pomer poskytuje zaručené zníženie šírky pásma pre takéto povrchy a úsporu pamäte.
Ray Tracing	•áno	Ray Tracing je technika počítačovej grafiky, ktorá vytvára realistické osvetlenie a tieň modelovaním dráh, ktorými jednotlivé svetelné lúče prechádzajú okolo scény.
Tienenie s premenlivou rýchlosťou	•Miery zatienenia potrubím, primitívom a prílohou •Až 4x4 miera tienenia	Variable Rate Shading oddeľuje frekvenciu tieňovania fragmentov od frekvencie rasterizácie, čím poskytuje príležitosť na úsporu energie pri zachovaní vnímanej vizuálnej kvality.



Príklady GPU v moderných mobilných zariadeniach

GPU	Výrobca	Použitie	Architektúra	Rok vydania	Podpora API	Hlavné vlastnosti	Príklad zariadení	Spotreba energie	FLOPS (Približne)
Apple GPU	Apple	Smartfóny, tablety	Custom (nešpecifikované)	2017 (A11 Bionic)	Metal, OpenGL ES, Vulkan	Podpora Metal, vysoká optimalizácia pre iOS, 4 jadrá (A11 Bionic), podpora výpočtov, vylepšená grafika.	iPhone 8, iPhone X, iPad Pro 10.5"	~2-3 W	~2.5 TFLOPS
Mali-G77	ARM	Smartfóny, tablety	Bifrost	2019	OpenGL ES, Vulkan	16 výpočtových jadier, vylepšený výkon, podpora ray tracingu (RT), podpora strojového učenia.	Galaxy S20, Xiaomi Mi 10	~5-8 W	~3.5-4.5 TFLOPS
Adreno 650	Qualcomm (Snapdragon)	Smartfóny	Custom	2020	OpenGL ES, Vulkan	8 jadier, podpora až 144 Hz, vylepšený ray tracing (základný), vysoký výkon v hrách a aplikáciách.	Galaxy S20, OnePlus 8	~4-7 W	~1.9-2.3 TFLOPS
Mali-G76	ARM	Smartfóny, tablety	Bifrost	2018	OpenGL ES, Vulkan	16 jadier, vylepšená podpora Vulkan, výkon zvýšený v porovnaní s G72, efektívna spotreba energie.	Galaxy S10e, Huawei P30	~4-6 W	~2.5-3.0 TFLOPS
PowerVR GM9446	Imagination Technologies	Smartfóny, tablety, smart hodinky	Rogue	2018	OpenGL ES, Vulkan	4 jadra, podpora 4K videa, vylepšený výkon a energetická účinnosť.	Apple Watch Series 5, iPhone SE (2020)	~2-3 W	~0.8-1.0 TFLOPS
Mali-G52	ARM	Smartfóny, tablety	Bifrost	2018	OpenGL ES, Vulkan	8 jadier, vylepšený výkon a energetická účinnosť, podpora Vulkan 1.1.	Samsung Galaxy A50, Honor 20	~3-5 W	~1.5-2.0 TFLOPS
Adreno 330	Qualcomm	Smartfóny	Custom	2013	OpenGL ES, Vulkan	4 jadra, podpora HD grafiky, vylepšený výkon v porovnaní s predchádzajúcimi verziami.	Nexus 5, LG G3	~2-3 W	~0.5-0.7 TFLOPS
Mali-T880	ARM	Smartfóny, tablety	Midgard	2016	OpenGL ES, Vulkan	12 jadier, podpora 4K videa, vylepšená spotreba energie, podpora Vulkan 1.0.	Samsung Galaxy S7, Huawei P9	~3-4 W	~1.2-1.5 TFLOPS
Adreno 305	Qualcomm	Smartfóny	Custom	2013	OpenGL ES, Vulkan	4 jadra, podpora HD grafiky, vylepšený výkon pre základné aplikácie a hry.	LG G2, Samsung Galaxy S4	~1-2 W	~0.3-0.5 TFLOPS
Mali-G31	ARM	Smartfóny, smart hodinky	Bifrost	2018	OpenGL ES, Vulkan	4 jadra, vylepšený výkon pri nízkej spotrebe energie, podpora Vulkan 1.0.	Honor 7S, Huawei Y5p	~1.5-3 W	~0.7-1.0 TFLOPS

Zdroje

https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-14047-1_3

<https://www.youtube.com/watch?v=NKfW8ijmRQ4>

<https://www.arm.com/products/silicon-ip-multimedia>

<https://www.qualcomm.com/products/technology/processors/adreno>

<https://www.ifixit.com/Teardown/Motorola+V3i+Teardown/3660>

https://www.gsmarena.com/htc_dream-2665.php

<https://developer.arm.com/Processors/Mali-T860%20and%20Mali-T880>

Ďakujem vám za pozornosť !