

天璣9300： 全大核 CPU 架構解析

發布日期：
2024年4月

目錄

圖表目錄.....3

1. 簡介.....4

2. 新型手機應用行為.....4

 2.1. 手機遊戲體驗趨勢.....4

 2.2. 支持折疊智慧型手機發展趨勢.....6

3. 硬體設計的演變.....7

 3.1. 三檔CPU架構: 打造卓越用戶體驗.....7

 3.2. 全大核 CPU 架構.....7

4. 效能評估.....9

 4.1. 天璣9300 的能效曲線.....9

 4.2. 第三方比較分析: 天璣9300 與競爭平台的比較.....10

5. 軟體設計要求.....12

 5.1. 系統軟體設計中的閉環調度.....12

 5.2. 對閉環調度的軟體支援.....13

6. 總結.....13

圖表目錄

圖 2.1: 行動遊戲 CPU 效能需求趨勢.....	5
圖 2.2: 基於天璣9300 對手機遊戲與複合場景的 CPU TLP 需求趨勢.....	5
圖 2.3: 遊戲(原神)與視訊通話(微信)的複合場景案例示意圖.....	6
圖 2.4: 折疊螢幕設備的多視窗使用案例示意圖.....	6
圖 3.1: 天璣1200 CPU 能效曲線圖.....	8
圖 3.2: 天璣9000 CPU 能效曲線圖.....	8
圖 4.1: 天璣9300 與天璣9200 之間的小檔 CPU 能效曲線比較.....	9
圖 4.2: 天璣9300 與天璣9200 多檔 CPU 能源效率曲線比較.....	9
圖 4.3: Geekbench v5 多核心:天璣9300 比高通驍龍8 Gen 3 有更好的能效比.....	11
圖 4.4: 遊戲《原神》：天璣9300 比驍龍8 Gen 3 有更好的 fps 和能效表現.....	11
圖 5.1: 系統中的閉迴路調度.....	13
表 3.1. 天璣9300 之前的聯發科技天璣旗艦晶片的 CPU 架構.....	7
表 4.1. 天璣9300 與天璣9200 關鍵場景功耗 (mA) 比較.....	10

1 簡介

聯發科技於 2017 年首次向智慧型手機行業推出了三檔 CPU 架構設計，包括大、中、小核心。隨著 Arm 推出 Cortex-X CPU 系列，這使得旗艦級 Android 智慧手機能夠採用新的三檔設計，分別為超大核心 (Cortex-X)、大核心 (Cortex-A7xx) 和小核心 (Cortex-A5xx)，反映了每種架構和性能能力的差異。自安卓智慧型手機 SoC 問世以來，小 CPU 核心一直以某種形式存在，小核心 (按循序執行) 被用於低強度任務。

聯發科技再次以其新一代的安卓智慧型手機晶片天璣9300 革新了智慧手機 SoC 的設計，這是首次放棄小 CPU 核心，採用開創性的「全大核」設計，其中所有 CPU 核心都配備了亂序執行流水線。這一行業先進的設計和諧地整合了最新的 Arm CPU 架構和聯發科技的優異能效技術。它使聯發科技的 SoC 超越了旗艦級 Android 智慧型手機市場的期望，帶來了卓越的性能和使用體驗升級。在這份白皮書中，我們將探討聯發科技全大核架構背後的理念，評估結果，並討論為充分利用這款開創性 SoC 所提供的獨特優勢所需的軟體設計。

2 新型手機應用行為

旗艦智慧型手機的性能進展主要受到兩個因素的驅動：手機遊戲需求和手機尺寸的限制。這兩個因素都在驅動更高的性能需求以及更多的執行緒級並行性 (TLP)。例如，2022 年發佈的遊戲《原神》須彌城 60 幀在超過一半的遊戲時間裡需要超過 5 的 TLP；快速增長的折疊手機市場提供多視窗體驗，這需要更多核心來支援各種多重視窗的應用內容組合。

2.1. 手機遊戲體驗趨勢

手機遊戲市場預計從 2023 年到 2032 年將實現 15.5% 的高複合年增長率¹，並預計將成為增加 CPU 運算需求的主要驅動力。智慧型手機現在支持與傳統遊戲機相媲美的螢幕解析度和幀率；90Hz 以上更新率的螢幕已成為高階設備的標準配備，在 2022 年第二季度安卓手機市場已達到近 50% 的用戶偏好市佔率²。這種朝著更高螢幕更新率、解析度以及更複雜遊戲視覺效果的趨勢，需要更多的 CPU 性能 (如圖 2-1 所示)。像《原神》這樣的遊戲透過利用多達六個並行主執行緒來處理 CPU 密集型任務，及眾多輔助的小執行緒任務，體現了需要更多 CPU 性能的趨勢。

¹ Precedence Research. Mobile Gaming Market (By Platform: iOS, Android; By Age Group: Below 24 Years, 24-44 Years, Above 44 Years; By Business Model: Freemium, Paid, Free, Paymium) - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, Regional Outlook, and Forecast 2023-2032. July 2023

² ANTUTU benchmark. Global Users Preferences for Android Phones, Q2 2022. July 2022

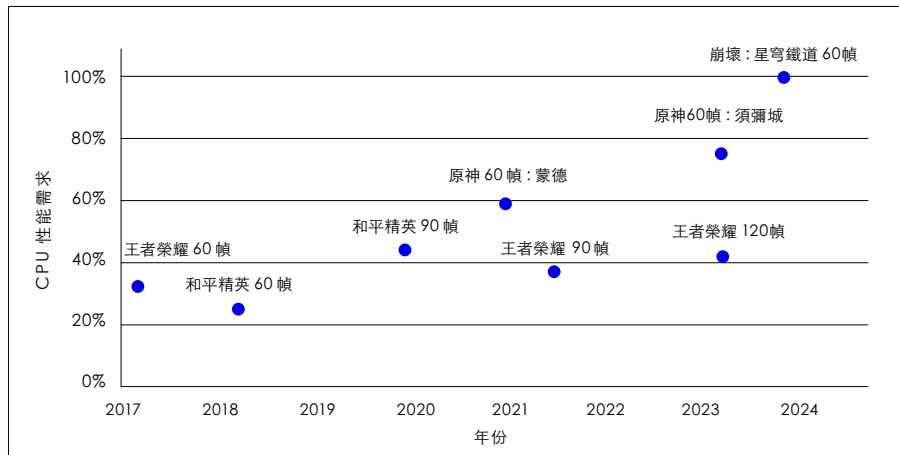


圖 2-1 行動遊戲 CPU 性能需求趨勢

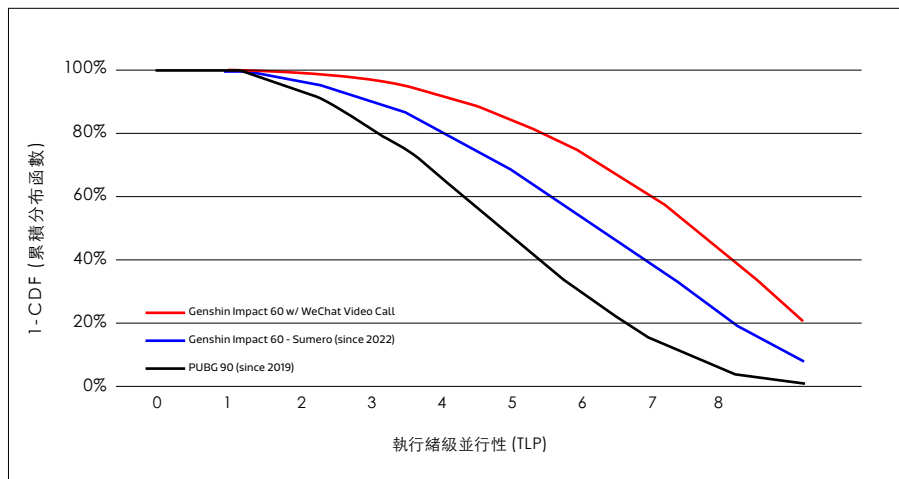


圖 2-2 基於天璣9300 對手機遊戲與複合場景的 CPU TLP 需求趨勢

在複合場景的應用中，比如邊玩遊戲邊進行視訊通話，TLP 需求的峰值甚至更高。例如，在玩《原神》60幀同時進行微信視訊通話（如圖 2-3 所示），這是一個常見的多工處理場景，TLP 需求在 60% 的時間裡超過了 6（如圖 2-2 中的紅線所示）。這一應用場景的出現反映出手機對複合場景任務處理能力的需求大幅增加。隨著使用者越來越期望他們的設備能夠流暢地運行多項任務，對手機平台能夠滿足嚴格 CPU TLP 的需求顯而易見。



圖 2-3. 遊戲（原神）與視訊通話（微信）的複合場景案例示意圖

2.2. 支持折疊智慧型手機發展趨勢

折疊螢幕設備正在改變智慧型手機的外觀設計，2022 年其市場增長達到了 62%³。擴大的螢幕空間結合更詳細和沉浸式的內容來增強使用者體驗。多視窗功能使用戶能夠有效地進行多工處理，這特別有益於生產力工具和手機娛樂相關的應用。例如，使用者可以觀看串流媒體影片並同時在社交媒體上發表評論，如圖 2-4 所示。隨著折疊螢幕設備的興起，開發者正專注於優化應用程式以利用更大的螢幕空間。這一轉變強調了對能同時處理多個高性能任務的 CPU 的需要，而聯發科技獨特的全大核 CPU 架構在性能和能效方面都表現得相當出色。

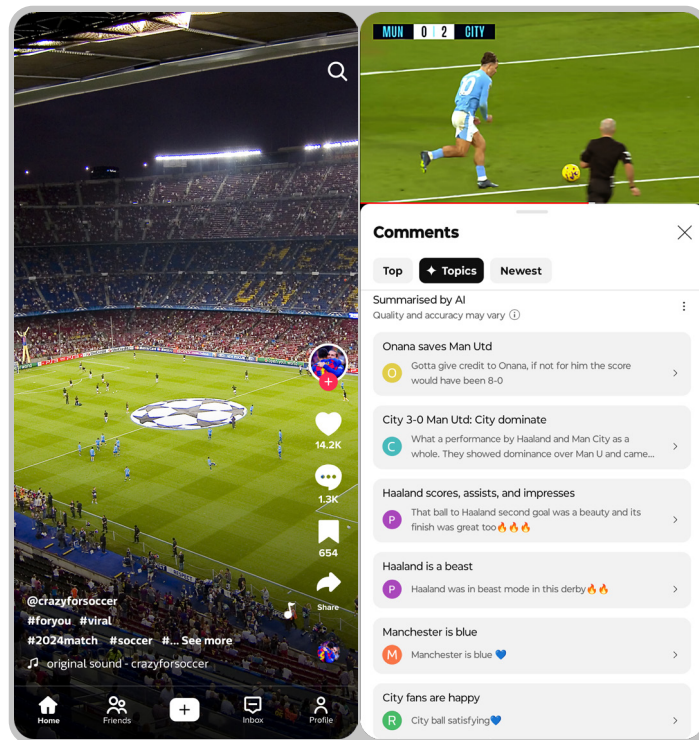


圖 2-4. 折疊螢幕設備的多視窗使用案例示意圖

³ THE TIMES OF INDIA. Foldable phone market declines in the last three months of 2022: Report. Feb 2023

3 硬體設計的演變

智慧型手機用戶體驗的趨勢推動了聯發科技 SoC 設計的演變，自 2019 年天璣系列行動平台推出以來，聯發科技一直致力於提供先進的旗艦 5G 智慧手機 SoC。

3.1. 三檔 CPU 架構：打造卓越用戶體驗

表3-1 列出了在天璣 9300 之前的聯發科技天璣旗艦晶片的 CPU 架構設計。為避免混淆，本白皮書使用“檔”來指代 SoC 中的 CPU 核心類別，如小檔 (min-gear)、中檔 (mid-gear) 和大檔 (max-gear)。從天璣1200 開始，採用了三檔 CPU 架構，其中大檔是 Cortex-A 核心，以峰值時脈速度為目標，針對短暫性能爆發；中檔用於可持續遊戲體驗；小檔則用於增加使用時長 (DoU)。接下來一代的天璣 9000 引入了兩個主要變化：首先，CPU ISA 從 Armv8.2 遷移到新的 Armv9.0，提高了安全性（例如，PAC、BTI、MTE）和機器學習計算能力（例如，BF16、MATMUL）；其次，它使用了 Cortex-X 系列 CPU 核心作為大檔，以在單核性能上與競爭對手保持同步。天璣 9200 遵循了相同的 CPU 架構設計，但採用了 Arm 該年度推出的 CPU IP。

表 3-1 天璣9300 之前的聯發科技天璣旗艦晶片的 CPU 架構

	天璣1000	天璣1200	天璣9000	天璣9200
CPU ISA	Armv8.2	Armv8.2	Armv9.0	Armv9.0
Max-gear		Cortex-A78 x1	Cortex-X2 x1	Cortex-X3 x1
Mid-gear	Cortex-A77 x4	Cortex-A78 x3	Cortex-A710 x3	Cortex-A715 x3
Min-gear	Cortex-A55 x4	Cortex-A55 x4	Cortex-A510 x4	Cortex-A510 x4
L3\$ Size	2MB	2MB	8MB	8MB

3.2. 全大核 CPU 架構

儘管三檔 CPU 架構有助於實現卓越用戶體驗，但各檔具體的核心設計對於實現更高性能和更低功耗的設計目標至關重要。

在此期間，我們觀察到小檔的有效範圍在每一代旗艦 SoC 中變得越來越小。在天璣1200 中，如圖 3-1 所示，小檔僅在圖表的三分之一以下區域的功耗與性能比超過中檔。此外，在天璣9000 中，如圖 3-2 所示，中檔始終比小檔更高效。這一趨勢有兩個主要原因：首先，Arm v9 按循序執行 CPU (CortexA510) 提高了 35% 的 IPC，但代價是能效；其次，聯發科技不斷推動在可操作的低電壓下提高頻率，這顯著提升了中檔的能效。

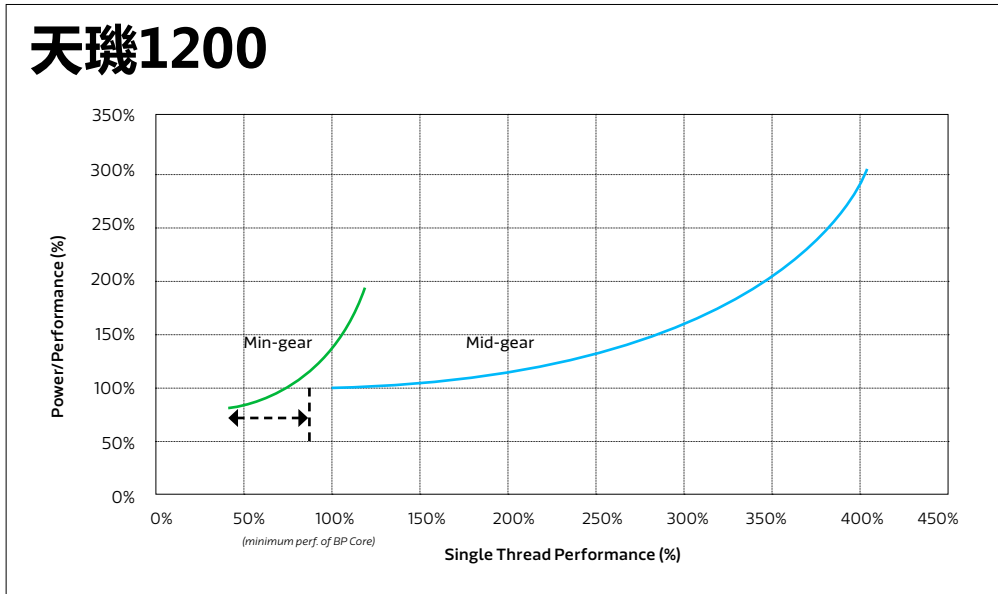


圖 3-1 天璣1200 CPU 能效曲線圖

這一觀察啟發了全大核架構的設計，其中中檔的亂序執行核心取代了小檔的按循序執行核心，在低性能範圍內具有相當的能效比。全大核設計擴展了小檔 CPU 的可用範圍。鑒於小檔現在提供了更廣泛的可用性能範圍，我們進一步採用了功耗優化的 Cortex-X CPU 作為中檔，以實現更好的高幀率遊戲體驗。

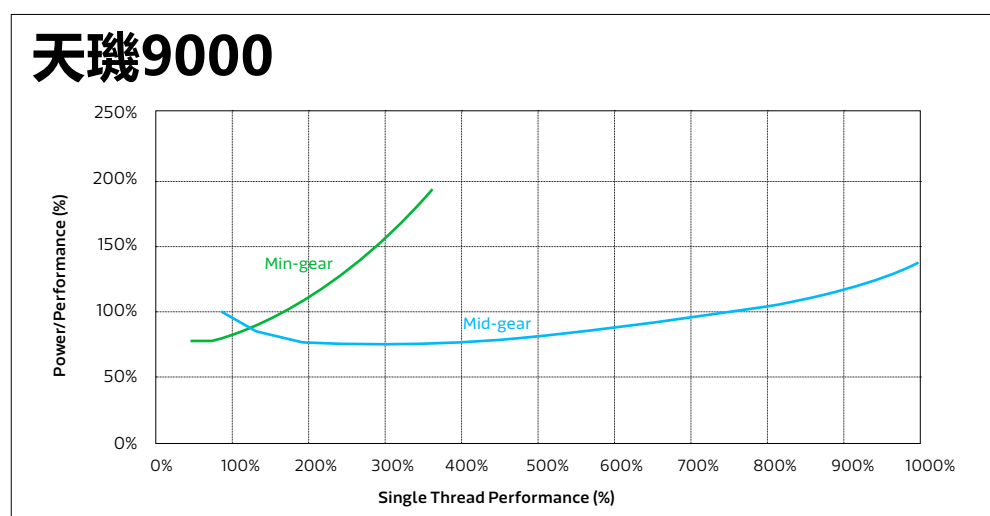


圖 3-2 天璣9000 CPU 能效曲線圖

4 效能評估

在本節中，我們將提供全大核架構的評估結果，以及第三方的比較分析。

4.1. 天璣9300 的能效曲線

圖4-1 展示了天璣9200 和天璣9300 之間的小檔 CPU 能效曲線比較。使用 SpecInt2k6，在相同的性能點上，天璣9300 小檔 CPU 的功耗降低了 60%，同時也能夠擴展提供與天璣9200 相比 3 倍的峰值性能。

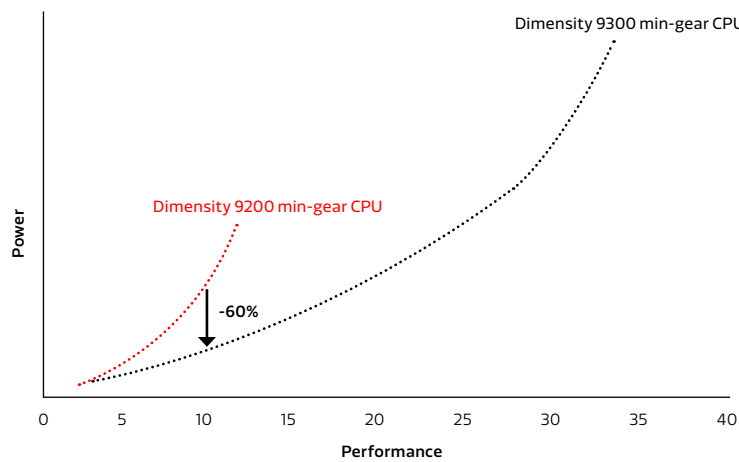


圖4-1 天璣9300 與天璣9200 之間的小檔 CPU 能效曲線比較

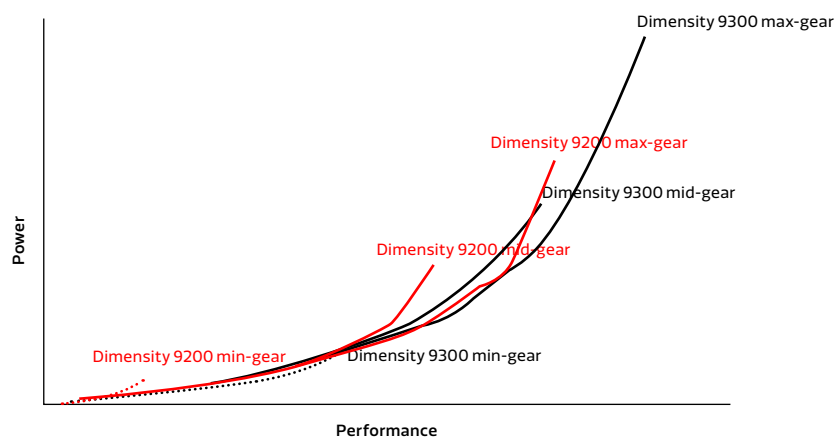


圖 4-2. 天璣9300 與天璣9200 多檔 CPU 能效曲線比較

圖4-2展示了天璣9300 和天璣9200 之間的多檔 CPU 能效曲線比較。天璣9300 有七個核心可以服務於 SpecInt2k6 中 10 到 35 的性能範圍，而天璣9200 只有四個。額外提供 10 到 35 性能範圍的核心可以更好地支援更多併發工作負載。

表4-1 展示了天璣9300 和天璣9200 在關鍵用戶場景下的功耗使用比較，其中天璣9300 的功耗大約降低了10%。
總結：全大核架構可以提供更高的多執行緒性能，而不犧牲 DoU（使用時長）。

表4-1 天璣9300 與天璣9200 關鍵場景功耗 (mA) 比較

Category	Scenario	Dimensity 9300 1st All-big-core (Measurement)	Dimensity 9200 (Measurement)
Basic	Flight Mode Suspend	5.0	5.7
	Home Screen Idle (CMD)	11.0	12.7
	MP3 (ADSP offload)	22.0	25
	Video - H.264 (1080P, 30FPS) HW mode	80	90
Camera	Capture Preview (1080P, 30FPS)	251	275
	Video Record 1080P EIS 30fps	308	331
	Video Record 4K EIS 30fps	386	428
	Video Record 4K EIS 60fps	625	707
Game	*Genshin 60 (fps/mA) *latest heavy scene	59.9/1231	56/1259

4.2. 第三方比較分析：天璣9300 與競爭平台的比較

網路評測媒體“極客灣”發佈了一篇評測影片，將天璣9300 與高通驍龍8 Gen 3 和蘋果A17 Pro SoC 進行了比較。在這項獨立評估中，天璣9300 在 Geekbench v5 多核得分上超過了兩個競爭對手 SoC。得分 (以蘋果A17 Pro 為基準)：

- 聯發科技天璣9300: 7368 (116%)，
- 高通驍龍8Gen3: 6782 (107%)，
- 蘋果A17 Pro: 6342 (100%)。

報告還詳細介紹了天璣9300 和驍龍8 Gen 3 的 CPU 能效曲線，其中 X 軸是總功耗 (瓦特)，Y 軸是 Geekbench v5 多核得分，如圖 4-3 所示。我們可以看到，在相同的功耗下，天璣9300 提供了更高的多核性能。

⁴ 極克灣 . MediaTek Dimensity 9300 Review. 2023.11.7

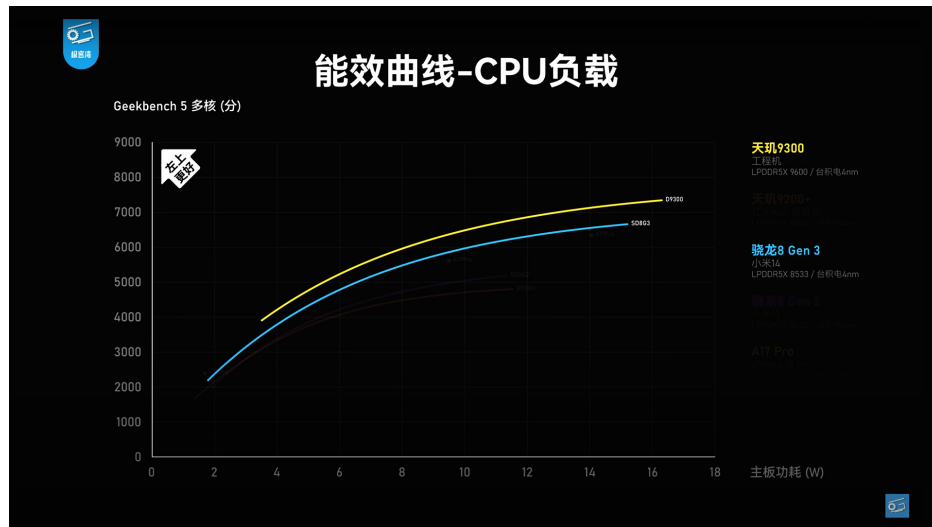


圖4-3 Geekbench v5 多核: 天璣9300 比高通驍龍8 Gen 3具有更好的能效比

在重負載遊戲的評估中, 如《原神》, 天璣9300 繼續超越驍龍8 Gen 3, 實現了略高的幀率, 同時功耗也更低。

- 聯發科技天璣9300 : 59.7fps @ 5.5W,
- 高通驍龍8 Gen 3 : 59.2fps @ 5.7W

圖4-4 給出了隨時間變化的即時幀率。如所見, 天璣9300 (橙線) 提供了更穩定的幀率, 顯著減少了大幅度的波動 (微卡頓), 這等同於更好的用戶體驗。

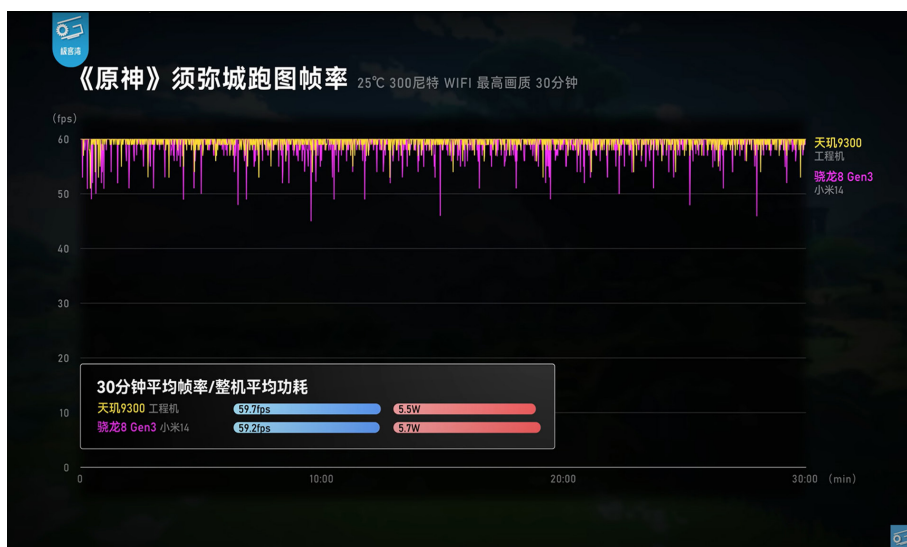


圖4-4 遊戲《原神》: 天璣9300 比驍龍8 Gen 3 具有更好的 fps 和能效表現

這些結果交叉驗證了全大核設計目標: 以更少的功耗實現更好、更穩定的性能。

5 軟體設計要求

全大核 CPU 架構為優化用戶體驗提供了堅實的硬體基礎。某些軟體場景可以直接從這種架構中受益，而無需在 Android 中進行任何修改。典型的例子包括執行 dex2oat 編譯執行緒和 zram 壓縮執行緒。其中 dex2oat 執行緒負責將應用程式碼從 dex 格式轉換為可執行二進位檔案，從而提高應用程式碼執行的性能。同時，zram 執行緒壓縮不活躍的記憶體頁面，釋放寶貴的記憶體空間。這兩項任務通常被系統調度器視為非關鍵任務，並經常分配給小檔核心以節省功耗。然而，它們的執行可以間接影響前台應用的回應性。有了全大核架構，這種影響被最小化，因為這些“非緊急”任務被更快地執行。

不過，要真正挖掘全大核硬體的全部潛力，系統化和深思熟慮的軟體設計至關重要，以找到功耗和性能之間的平衡。關鍵是 CPU 核心在可休眠的情況下迅速且深入地進入睡眠模式。由於智慧型手機同時處理來自應用程式、系統框架和平台驅動程式的眾多工作，軟體設計原則如下：

- 對於單一任務，核心應在任務分配時迅速啟動，並在沒有活動任務時迅速進入睡眠模式。
- 對於多個任務，應將這多個任務進行組合，不間斷執行，以防止重複的啟動/睡眠週期。
- 對於中斷處理，系統應儘量減少對 CPU 的 IRQ 數量，並考慮將它們卸載到內部專用微處理器。

除了這些原則外，傳統的對於三檔 CPU 的調度策略仍然很重要。例如，將應用程式中需要即時回應的任務分配給大檔核心以實現快速回應。

5.1. 系統軟體設計中的閉環調度

為了實踐我們提出的軟體設計原則，我們在安卓系統軟體中採用閉環調度技術。這個閉環主要可以分解為三個功能元件，如圖 5-1 所示：

- 任務行為、資源需求的判斷：該組件負責識別應用行為，設定性能目標，並評估資源需求。
- 任務、資源的管理：該組件將任務映射到平台資源上，並動態調節資源屬性，如運行頻率等。
- 發熱管理、電池調節：在設備溫度、電池能力的限定條件下動態監控和調節系統操作行為。

為了執行閉環調度，需要對安卓系統進行修改，以實現應用程式與硬體平台之間的資訊交流。

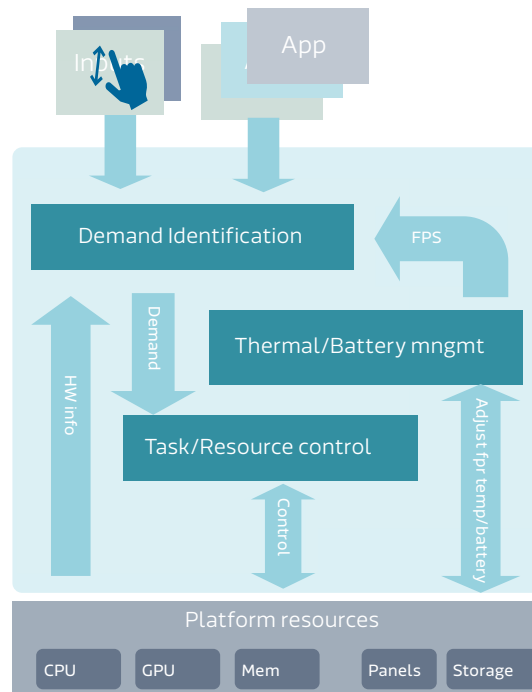


圖 5-1 系統中的閉環調度

5.2. 對閉環調度的軟體支援

安卓系統實現閉環調度有幾個關鍵舉措：

- 確定性能指標：應用程式可明確指明它們的性能目標，如幀率或執行時間預算。這些資訊對於調度器有效分配任務至關重要。
- 識別關鍵路徑：系統需要識別關鍵路徑任務，例如，生成一幀所要執行的任務。這允許調度器適當地優先處理這些任務，並防止它們被不那么緊急的任務阻塞。
- 實現任務對齊：調度器必須支持將任務與指示一幀開始的事件（如 vsync 信號）對齊的機制。
- 實現任務組合：為了最小化 CPU 喚醒時間，系統應支援跨多個幀的任務組合。

聯發科技已經投入了大量努力進行系統增強。鑒於軟體支援的範圍廣泛，從應用開發到系統級優化，與安卓社區內的合作對於發展這些能力至關重要。

6 總結

聯發科技天璣 9300 開創性的全大核 CPU 架構代表了 Arm CPU 架構和聯發科技能效技術的創新發展。聯發科技創造了一款超越所有市場預期的 SoC，其所立下的性能標杆，不僅增強當前行動應用的使用者體驗，還為未來應用和體驗提供更多的可能性。

要充分發揮聯發科技全大核 CPU 架構的能力，需要通過軟體系統設計的改進實現能效和性能之間的理想平衡。其中的關鍵在於使處理器核心能夠在有機會時迅速地、深度地進入睡眠狀態。在安卓社區內促進合作對於增強這些能力至關重要。