
RTX64 — 物联网时代的 最佳实时操作系统平台

本文概述英特蒙 RTX64 如何将 Windows 转换为实时操作系统 (RTOS) ，并实现物联网 (IoT) 和工业 4.0 的承诺



IntervalZero

摘要

本白皮书探讨为何 RTX64 能完美适用于未来的机器控制，原因在于可充分利用市售的现成工业 PC 来解决对设备控制的确定性 (deterministic)，和对于物联网 (IoT) 新兴策略的要求。RTX64 引人注目的原因是能将 Windows 转换为实时操作系统 (RTOS)，既可以执行确定性设备控制，也能同时运行 IoT 和非确定性 Smart Edge 以及其他应用程序。这方法与其他需要双硬件平台来完成相同作业（一个专用平台作为设备控制器，搭配另一个 PC-based 平台处理 IoT 和使用者经验 HMI 需求）的实时解决方案形成对比。

设备制造商在 IoT 时代所面临到的挑战

增加 IoT 功能的同时也提升核心技术

由于新兴的物联网 (IoT) 需求，设备制造商面临大幅扩展产品功能的压力。客户更加期待设备操作数据能透过 IoT 反复回馈而不断优化设备的效率。此外，在某些产业中，同样安全的 IoT 联机能力甚至可以创造远程管理和维护的机会，客户将这视为降低营运成本的一种方式。在工业环境中，设备制造商的客户还会希望 IoT 能进一步改善邻近设备的效能以及工作单元或设备的处理流程。

因此，设备制造商正感受到前所未有的压力，他们所要交付的系统不仅得在设备的确定性做出创新，藉此提高数据处理的量与效能，现在还必须实现 IoT 的承诺。

在为未来做准备的同时，设备制造商发现当必须特别考虑 IoT 需求的时候，某些确定性技术比其他技术更能满足硬实时设备的要求。虽然 DSP、FPGA 或 MCU 一度能应付设备的确定性，但如果不新增工业电脑 (IPC)，客制化的硬件系统无法轻易满足新兴的 IoT 功能。由于 IoT 需求是非确定性的，因此仰赖 FPGA 并采用 IoT 的设备制造商通常会在 IPC 上部署新的 IoT 功能。这代表设备制造商面临着集成和支持两种硬件的难题，也就是具备确定性的专用控制器和满足 IoT 要求的 IPC。

透过像英特蒙 RTX64 RTOS 平台这样的正确架构，硬实时的确定性和当今设备要求的非确定性云端物联网，都能由同一台工业电脑提供，节省集成过程并减少超过 50% 的硬件成本。

从 FPGA 到工业电脑的转变

新一代工业、视觉、医疗和其他仰赖于确定性的系统试图将高阶绘图、丰富的用户界面、IoT 云端物联与硬实时效能、排序和精准度相结合。如今运行 64 位 Windows 的工业电脑，加上多核心处理器上单独的确定性排程器辅助，即可在软件定义的周边装置提供精确的实时效能。

在智能边缘 IoT 或云端物联等日益丰富的应用需求下，硅集成电路和效能的进展脚步有增无减。然而，这进展一直朝着不同的方向前进，特别是将功能集成到单一硅芯片上的部分。设备制造商的任务是要决定如何将些革命性的发展转化为能满足客户需求的实际产品，包括高分辨率影音、机器视觉、实时性的工业产

品（如六轴运动控制）、实时物联能力和丰富的用户界面，用户界面通常还必须能实时显示链接应用程序的复杂实时图形数据。

今日的电脑硬件就具备了这种能力，最有效利用硬件的方式就是提供纯软件解决方案，而不是将专用 FPGA 板插入电脑。换言之，有了够强大的处理器核心，就不须依赖定制化硬件来执行专门的功能；现在用软件即可完成。软件比硬件更容易更新和改善，而设备制造商也能够在此展现真正的价值。

要顺利执行复杂的实时软件应用程序，最好的方法就是从正确的硬件环境入手。如上所述，硬件集成一直朝着不同的方向发展。一方面，有一种趋势是将实时系统使用的各种装置集成到单一芯片，这些装置可能包括多核心处理器、DSP、FPGA 或高阶图形处理器，例如：我们最近看到集成处理器核心和 FPGA 的装置，或者能进行密集数字运算的高阶图形处理器核心，像是 DSP。

另一方面，我们还有机会利用目前的多核心中央处理器（CPU），因为多核的架构和（放大来看）频率速度可接近 3 GHz，具有惊人的功率和效能。这些标准市售现成工业电脑藉由一些额外的指令和排程器，就可以使提供的平台具有 DSP 等级的处理、效能、排序和精度。使用现代的 CPU，这种处理可在浮点中完成，以进行比通常在 DSP 使用的定点更多样化的计算。这样的效能将重点从尝试优化每条指令的使用，转变为真正充分利用多核心 IPC 的实际功率。

这趋势已经产生能超越传统 DSP 处理器的装置。另一项重大发展是 64 位架构的转变，不但能与前身 32 位向下兼容，同时又提供大幅增强的效能。这样有几个优点，因为即使是集成不同功能（以及各自不同的指令集和协议）的高集成芯片，也会对统一的软件环境造成障碍；既增加硬件困难，也加深了开发团队想避开这些困难的负担。

解决方案：在工业电脑上执行 RTX64

英特尔 RTX64 的建置采用后者，将 Windows 转变为全功能的实时操作系统（RTOS），完全运行在 x64 多核心硬件上，此外这也能依照实际映像的实体 RAM 大小来存取 128 GB 非分页内存。总体而言，Windows 512 GB 物理内存胜过 32 位 Windows 的 4 GB 物理内存限制，这样一来大量的可用内存就能分配给以前无法使用的 MRI 医学成像和高阶影片编辑等应用程序。

最重要的是，RTX64 以多核心 x64 装置的形式提供单一的商用硬件环境，使单一软件环境能够容纳 Windows 及其丰富的用户界面、可用的应用程序和开发环境。Windows 还能无缝连接到可从 1 个核心扩展到 63 个核心的全功能实时对称多处理（SMP）RTX64 环境。应用程序可编译成单一代码库，不需要 FPGA 或 DSP 针对那些必须分别编译并链接主应用程序的不同代码而执行逻辑。单一硬件，单一操作系统环境，单一工具，单一代码库，这意味着一个团队可以沟通与合作，并制作高效能、可扩充的应用程序，同时大幅缩短上市时间。



深入探索 RTX64

RTX64—进入 64 位的全新开始

英特尔团队特别重新打造 RTX64，藉以开启 64 位实时运算的世界，而不是从 32 位产品移植。专业影音、高阶医疗设备以及包含机器视觉和丰富用户界面的高阶工业控制系统，这些应用所提出的需求只有包含丰富用户界面的高阶 64 位系统才能满足。

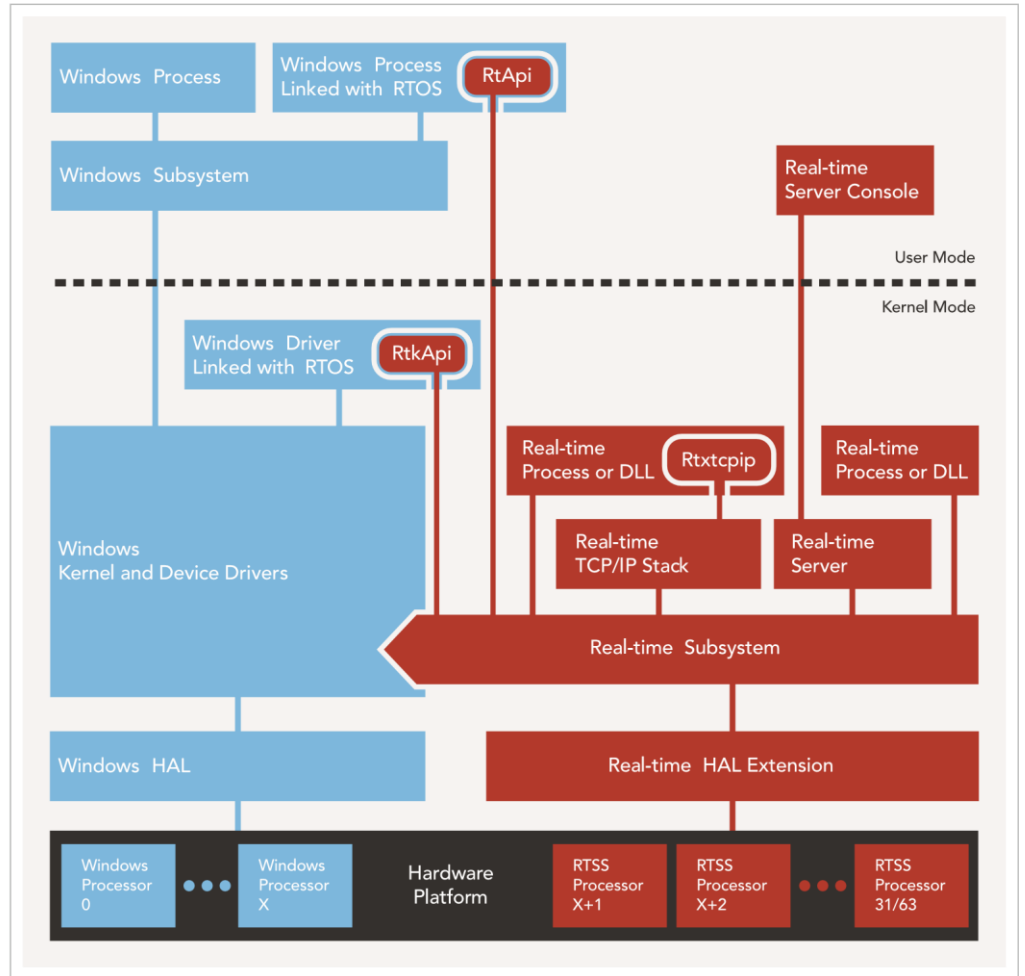


Figure 1

RTX64 provides an architecture that takes advantage of the advancing technologies—specifically, high-speed, multicore x64—that can outperform and outscale the traditional embedded environment that relies on DSPs, FPGAs and microcontrollers.

RTX64 提供一种利用先进技术（特别是高速多核心 x64）的架构，效能及规模胜过依赖 DSP、FPGA 和微控制器的传统嵌入式环境（Figure 1）。透过在单一硬件环境中以更高的效能执行功能以实现上述这点，并能与 Windows 结合使用，提供丰富的使用者环境和存取大量可利用及支持实时操作的应用程序。



首先，RTX64 的硬件抽象层（HAL）与 Windows HAL 不同，并且会和 Windows HAL 一起运行。因此，从一开始就不需要对 Windows 进行任何修改。这两个操作系统（GPOS 和 RTOS）并列执行，且透过各种机制进行通讯。RTX64 HAL 在时序降至 1 微秒（视硬件支持而定）的期间，可从 1 个核心扩充到 63 个核心以提供确定性的实时效能。常驻在 RTX64 实时子系统（RTSS）中的排程器可将执行序分配给不同核心以实现对称多处理（SMP），无须依赖虚拟化或会增加延迟的复杂行程间通讯。

这种独立运行的能力来自于所有核心都可使用不须分割内存的极大内存空间。整个系统能存取高达 128 GB 的非分页内存和 512 GB 的物理内存。这为越来越依赖可视化的医疗应用，例如目前正在开发的视网膜光学断层扫描（OCT），或需要准确器官成像处理（如跳动的的心脏）的实时手术机器人提供显著优势。对于那些不只是向用户呈现视觉数据，还必须实时处理数据以驱动运动控制的先进工业控制系统，以及生产过程中的零件检验来说也是至关重要。

像这样的内存空间可提供给高性能通用硬件平台使用，使得原始设备制造商（OEM）能够开发专门的软件，以执行需要使用专门硬件组件才能执行的极其专门功能。经验显示，结合不同的硬件会牵涉到使用不同语法（如 C++与 Verilog），和内容大相径庭的软件套件，这不仅会大幅拉长开发时间，也会限制效能和可扩充性。扩充这类系统只会增加复杂性，因为每个不同的附加硬件都有自己的界面和独特的软件需求。

RTX64 实时子系统（RTSS）包括实时排程器，完全独立于 Windows 核心与 Windows 排程器。Windows 和实时线程之间没有既定的交互影响或干扰。开发人员只能使用实时 API 进行线程之间的特意通讯。系统也提供实时 API 与用户模式的 Windows 应用程序一起使用，或提供实时核心 API 与 Windows 核心驱动程序一起使用。

在 RTX64 启用的情境中，应用程序可以像常见的 Windows 应用程序一样呈现给用户，但在用户界面的背后，许多功能其实都会利用到 RTX64 实时处理程序，例如：设备控制程序可能会显示正在加工的零件视图，用户也可透过触控屏幕访问控制和设定。然而，实际的应用程序包含了两个部分-- Windows 程序能透过实时 API 在核心和使用者两种层级上与实时控制程序进行通讯。

在核心层级，Windows 驱动程序会将数据送到 RTX64 端，即可控制设备的行程，并接收目前的位置数据然后传送至用户界面，或透过实时核心 API（RtkApi）进行某种处理。在使用者的层级，操作人员可以在触控屏幕上设定数值或开关位置等，并与 Windows 行程进行通讯，该行程则会使用实时 API（RtkApi）与 RTSS 进行通讯。这两类 API 会直接与实时控制程序常驻的 RTSS 进行通讯。



重要的使用者体验

随着对实时和嵌入式系统的丰富用户界面需求不断增长，开发人员面临的困境是如何将这些界面与传统上不支持复杂用户界面的 RTOS 环境相链接。透过将 RTX64 扩充到 Windows，即可直接使用自己喜欢的图形工具来设计用户界面，并以 RTX API 将用户界面直接链接到底层的实时应用程序。对某些人来说，更具有吸引力的可能是直接购买现成的软件控制和数据撷取（SCADA）工具，包含许多预先设计但可定制化的仪表、滑杆、开关和泵、水箱、驱动器的图标等，并从中使用相同的 RTX64 API 来连接系统以进行开发。

影像数据也适用于此，有多种工具和应用程序能表现像是热分布、流体动力学、应力等物理现象，同时都运行在 Windows 上。现有的图像处理应用程序已经能进行边缘侦测和零件检测所需的其他操作，而这份清单还在持续增加中。OEM 在这类 Windows 用户界面等级上提供丰富的「自建或购买」选项，开发人员可以有自信地使用和/或尝试这些选项，因为他们知道这些底层实时应用程序的界面定义明确且能开箱即用。

SMP 提供效能和可扩充性

对于如何利用多核心处理器当然存在着不同的思想流派，这些流派基本上分为非对称多处理（AMP）、或虚拟化和对称多处理（SMP）。达成 AMP 的其中一种方式是要求操作系统的副本运行在每个核心，此时就要将内存分配给各个核心，随之而来的是行程间通讯的需求，而这会增加负担和延迟，也就是确定性的敌人。如果尝试使用 Windows 执行用户界面，同样会出

现效率低下的情况，加上要在 Windows 与 RTOS 和分割内存的多个实例之间进行行程间通讯，并且在系统处理（在 RTOS 上）和显示（在 Windows 上）实时视讯数据，就会需要更多的工业电脑，接着很快就会阻塞。将系统扩充到更多核心需要更多的 RTOS 副本、更多的分割内存和应用程序的重新配置。

另一种达成 AMP 的方式是使用虚拟机管理程序（Hypervisor）实施虚拟化，Hypervisor 是直接运行在硬件的独立软件层，可在操作系统之间划分硬件（Figure 2）。有些多核心处理器甚至具有用于虚拟化的内建硬件辅助，能为每个操作系统提供一个虚拟「主板」。虚拟化通常用于支持「分离式核心」，这些核心与系统的其余部分隔离，只透过严格控管的机制和协议进行通讯，这对于某些情况是有帮助的，但主要目的在于隔离，而 SMP 的目的是集成。Hypervisor 本质上会增加一些延迟，这限制了在 RTOS 环境中的实用性。然而，结合实时 Hypervisor、SMP 和 64 位的新解决方案则非常有趣，不仅允许在单一硬件平台上进行集成，同时也促进和 SMP 集成，不久后将会在另一份白皮书中探讨此解决方案。

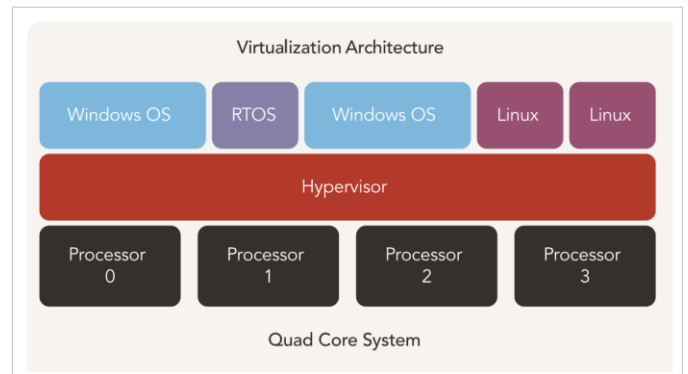
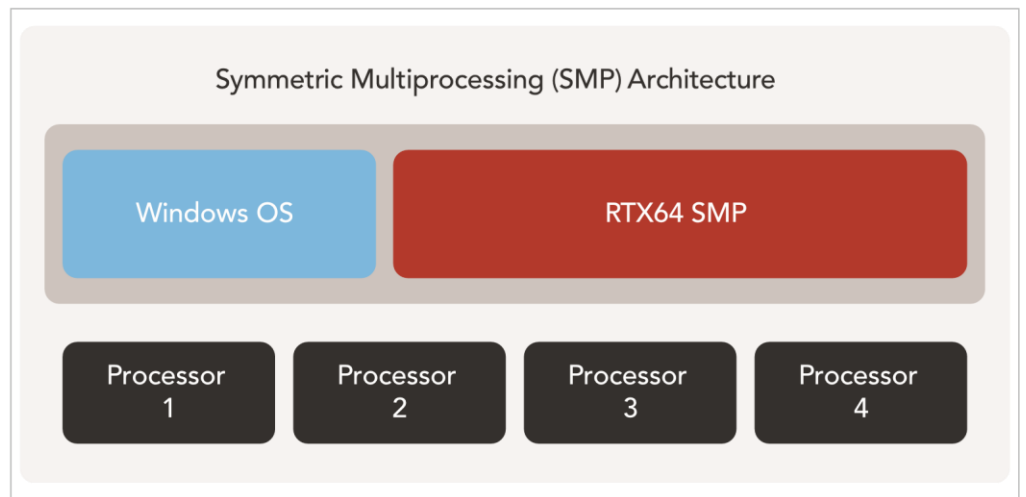


Figure 2

与在 RTOS 和核心之间出现障碍的 AMP 解决方案相比，RTX64 代表 Windows 的实时操作系统延伸，并与 Windows 一起运作，形成使用 SMP 将多处理器硬件视为单一共享资源的单一操作系统环境。整个操作系统环境只要单一副本（包括实时子系统与其实时排程器）就可存取所有分配给该子系统的核心（Figure 3）。与 AMP 不同，程序代码只需编写一次，之后便能静态重新分配线程，或新增核心和重新分割等新增功能的时候进行扩充。由于所有核心以及线程都能直接存取共享资料，所有资源都可以提供给实时行程，因此不须要额外的副本或使用复杂的行程间通讯方案或远程过程调用。

Figure 3

RTX64 represents a real-time operating system extension to Windows and works with Windows as a single operating system environment that uses the SMP approach to treat the multiprocessor hardware as a single shared resource.

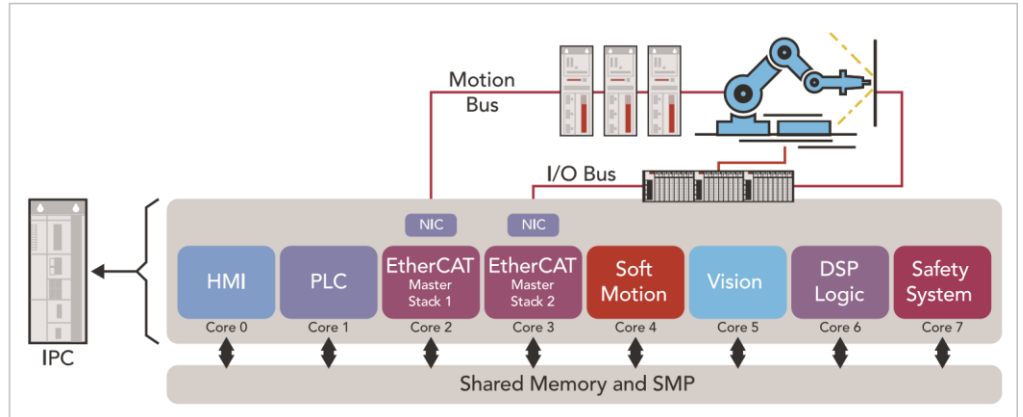


在同质的硬件平台上使用单一扩充操作系统环境，能够减少设备制造商做出「是否有足够的核心来做我需要的事情？」或「要新增多少核心才能为这个应用扩充到所需的附加功能？」等主要硬件决策，不须在不同的硬件组件（如 FPGA 和 DSP）之间桥接界面，也不用为了效能更高但程序编写要求不同的零件去调整程序代码，更不需要请各种不同的硬件专家来建立或升级产品。团队会根据单一程序语言（如 C++）来定义效能。

这形成了另一种优势，就是针对整个项目使用例如 Windows Visual Studio 的单一开发工具。Windows 可以当作整个系统（也就是 Windows 功能和实时编码）的开发环境，其他基于 Windows 的工具也能结合使用，例如需求分析、版本控制或静态分析工具等等。实时子系统的用户模式还包括连接到 RTSS 的 RTX64 服务器控制台，开发团队可以使用他们最喜欢的实时侦错器、效能量测器和分析器来调整实时子系统，也能用相同的术语沟通和讨论，不须学习 Verilog 或 DSP 程序语言。

Figure 4

EtherCAT provides for gateways to integrate existing fieldbus components such as CANopen or Profibus. EtherCAT runs under RTX64 in software without the need for any specialized EtherCAT card plugged into the system bus.



网络和实时连通能力

在 IoT 时代，嵌入式系统不再是独立运作，而是必须互连和共享信息。某些情况下，网络在单一设备控制器内需保持确定性，如上 Figure 4 展现的机器人设备控制器。当多个机器人操作同一个零件或装载和卸除设备时，碰撞侦测和避免碰撞可能就需要控制器之间的确定性网络。另外为了支持 IoT 作业，有时和云端的通讯是非确定性的，这样才能改善控制器系统。英特蒙有取决于应用程序的四种不同实时网络解决方案，RTX64 可支持上述三种通讯路径，并将非确定性的工作委托给 Windows。

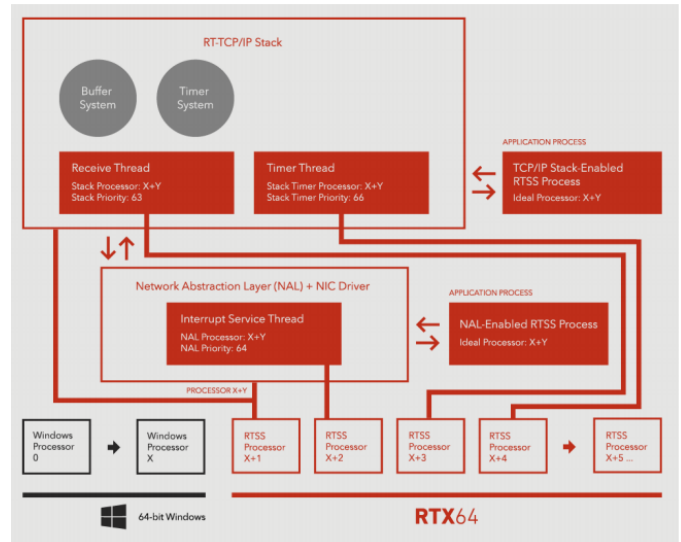


Figure 5 RTX64 Real Time Networking Architecture

在 RTX64 RTOS 架构中的 Windows IoT 支持角色

反映在设备中的 Windows 生态系统

每个设备控制应用程序都建立在硬件、软件和服务的生态系统之上，将数据转化为情报。没有任何一家技术或服务供货商能提供所有的组成要素，因此设备制造商一定得选择一个开发环境是具有应用程序和合作伙伴支持的强大生态系。

微软 Windows 提供最强大的生态系统，为设备制造商提供一流的工具链、安全性、IoT 云端能力、合作伙伴、集成器和应用程序，并可支持所有设备制造商目前和未来的需求。如上所述，RTX64 为自己的实时排程器划分并保留一个或多个核心，多核心电脑的其余核心则分配给 Windows（参见 Figure 3 中的逻辑分配），因此设备制造商能利用 Windows 开发环境和应用程序、集成器和合作伙伴生态系统的优势，提供具有令人惊艳的 HMI、IoT 功能和边缘运算应用的一流设备。

突破性的 Windows 使用者经验

设备制造商长期以来一直依赖 Windows 提供给操作人员控制台的 HMI 或其他使用者经验。有了 RTX64，设备制造商可使用 Visual Studio，也就是单一的集成开发环境来开发 HMI 和设备控制器。与需要控制器硬件和另外 HMI 硬件的典型部署不同，RTX64 可将两者集成到一台工业电脑中。

突破性的 Windows IoT

随着 IoT 的兴起，从控制器到云端的安全联机能力已经成为一项必要条件，而因为 Windows 支持 OPC UA 等协议，设备制造商能够轻易地满足这个需求。

突破性的 Windows 边缘运算

国际市调机构 Gartner 认为，当运算能力靠近生产资料的人事物时，数字商业项目通常会建立更有效处理过的数据。边缘运算方案解决了对运算能力本地化的需求，负责管理这些解决方案的 IT 基础架构和营运 (I&O) 领导者应该要了解相关的商业价值和风险。

大约有 10% 的企业生成数据是在传统集中式数据中心或云端之外建立和处理的，到 2025 年，Gartner 预测这个数字将达到 75%。如果设备制造商还没考虑到这个趋势，他们可能会错失市场优势，甚至是发掘新收入来源的机会。

Gartner 将边缘运算定义为在数据产生来源或附近协助数据处理的解决方案。例如：在物联网 (IoT) 的环境下，数据产生来源通常是配备传感器或嵌入式装置的物体。这时边缘运算即可当作校园网络、行动网络、数据中心网络或云端的分布式延伸。

踏上数字转型之路的公司已经意识到，需要一种更加分散的方法才能满足数字企业基础设施的条件。随着数据量和速度的增加，将所有信息串流传输到云端或数据中心进行处理的效率也越来越低。在这种情况下，将运算能力分散，放置在更靠近数据产生位置的地方



（换言之就是采用边缘运算），是具有优势的。微软 Windows 和 RTX64 就是达成这愿景的最佳平台。

总结

RTX64 实时操作系统平台对于 IoT 时代的所有设备控制是相当关键的，因为设备制造商现在不但能满足所有确定性的要求，还能提供 Windows 生态系统中可使用的突破性 IoT 功能，而这些全都来自于一台工业电脑。

