

# 毫米波人体扫描仪市场： 过去、现在和未来

Abhishek Kapoor和Bilge Bayrakci  
ADI公司

## 摘要

全身扫描仪已经成为全球安全与威胁检测工具包的重要组成部分。随着射频、微波和毫米波技术的不断发展进步，利用这种技术的全身扫描仪也变得流行起来。全身扫描解决方案的总体接受程度在很大程度上取决于其性能、设计和商业可行性。本文讨论了这些全身扫描仪的系统集成商如何做出正确的技术设计和合作伙伴选择，从而更自信地为这个快速增长的市场提供商业上可行的解决方案。

## 简介

与几十年前相比，我们生活的世界发生了翻天覆地的变化。国际社会地缘政治格局的变化和全球恐怖主义威胁的加剧使得个人安全方面的需求激增。对安全的需求不再仅仅局限于关键的基础设施，而是越来越趋于普遍。世界各地的政府、安全机构和企业都开始认识到这种新趋势，并纷纷利用技术来解决这些新的安全挑战。全身扫描是一种常用的安全工具，可以帮助克服这些挑战和解决潜在威胁。这种设备非常重要，被广泛用在机场、火车站和政府大楼中。它们对进出建筑物的人员进行扫描以查明是否藏有武器、爆炸物和其他违禁物品。虽然人体扫描仪几乎是不可或缺的，但它存在几大缺点。现在大多数的人体扫描解决方案所需扫描时间较长，这会导致人流堵塞。许多扫描仪的分辨率不足以检测当今的威胁，或者会太过于干扰日常活动的进行。此外，即便它们能够满足上述所有预期，也通常过于昂贵，无法大规模投入商业使用。

ADI公司在射频、微波和毫米波技术方面的进展正在改变这一状况。有了新的半导体解决方案，公司可以实现新一代的人体扫描

解决方案，以定义其功能范围。本文讨论了人体扫描技术的发展，以及目前可用于开发下一代人体扫描仪的解决方案。

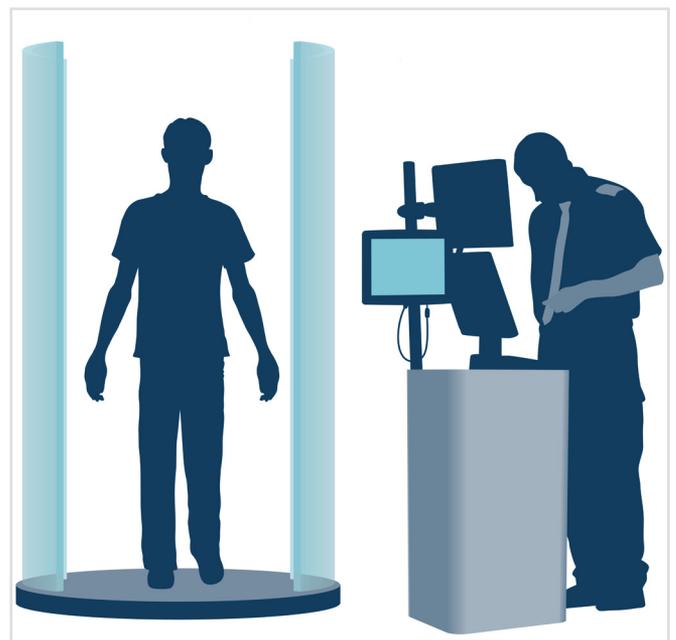


图1. 典型的人体毫米波扫描仪。

## 人体扫描解决方案的发展历史

早在自动化人体扫描系统出现之前，人们主要通过人工搜身来进行检查。当然，正如人们所料，这需要很长时间，会侵犯个人隐私，而且并不一定能够最准确地检测出威胁。随着威胁日益复杂和技术不断进步，人工搜身被金属探测器所取代。金属探测器自动扫描人流，让他们可以无需停步而直接走过安全门。只有被检测到身上带有金属物体时，才需要停下来接受人工搜身。当时的

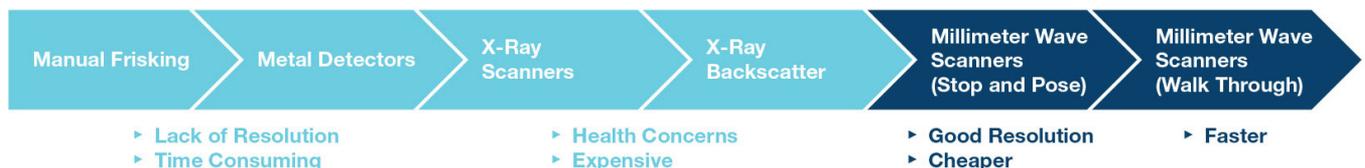


图2. 用于检测威胁的人体扫描技术的发展。

假设是，至少大部分威胁都是由金属造成的。在那个时代，这种假设，还有金属探测器的预期分辨率水平有其合理性。除了这些固定的金属探测器之外，还采用便携式手持金属探测器加以辅助，使工作人员可以在不接触人们身体的前提下更近距离地进行扫描。

最终，随着各种隐藏的物体变得更加隐蔽，传统的金属探测器开始难以胜任。现在，随着3D打印等技术的出现，人们可以用非金属材料制造武器，因此金属探测器不再是最好的检测方法。因此，各种机构需要引入更准确的扫描方法。

此后，X射线技术成为首选。X射线扫描仪的速度很快，可以穿透活体，提供人体和隐藏物体的超高分辨率图像。这项技术的缺点在于，被扫描的人员会受到高强度辐射，引发了公众对人身健康和个人隐私极大关注。由于其固有的穿透特性，X射线可以揭露大多数人都不愿意分享的大量信息，由此引发了众怒。这些机器的最初版本要求检查人员人工判断隐藏物体的图像，带来了侵犯这一主要弊端。此外，由于这些机器使用主动辐射，不管X射线公司如何声明，都引发许多人对长期健康的极大关注。

鉴于上述原因，X射线被修改为X射线后向散射解决方案，后者不会穿透目标，而是从目标表面进行反射。从健康角度来看，这种解决方案相对更好，尽管人们仍对这种技术的健康和隐私影响抱持同样的担忧。如今，后向散射技术被全球多地采用。

与此同时，射频、微波和毫米波技术也取得了进步。扫描公司目前正在采用这项技术开发扫描仪，其特点是速度快，分辨率高，不侵犯个人隐私，而且不利用任何辐射。这些扫描仪的工作频率一般在10 GHz到40 GHz之间，有时还高达60 GHz到80 GHz。随着射频和微波技术日益普及，这些扫描仪的价格越来越低，体积越来越小巧，因此在各种市场中被广泛投入商业使用。一般来说，相比之前的产品，这些扫描器都不仅安全可靠，而且更能保护隐私。毫米波扫描正逐渐成为当今和未来人体扫描仪的首选技术。

### 毫米波人体扫描仪市场概述

毫米波人体扫描提供了巨大的市场机遇，不仅限于安全和威胁检测应用，还包括其他商业应用。根据Global Industry Analyst, Inc. 2015年发布的报告，全身扫描仪市场预计到2021年将增长到17亿美元，年复合增长率为41.5%。根据MarketsandMarkets的另一份报告，到2021年，单机场人体扫描市场的价值预计就将达到1.18亿美元，年复合增长率为8.4%。这还未考虑非机场和商业市场的巨大增长机会。

毫米波技术也同样被应用于其他行业，例如在商业领域，商场、音乐厅和体育场使用低成本人体扫描仪确保安全。类似地，在消费领域，该技术可用在零售商店，将传统的试衣间更换为现代的扫

描和试穿系统。医疗健康行业也在考虑使用毫米波取代老式的主动式辐射全身扫描的方法进行各种治疗。

随着全球都在从X射线、后向散射和金属探测器技术转换到毫米波全身扫描仪，市场提供了巨大的机会。为了保持市场份额，这一领域的行业领导者不仅需要制造人体扫描仪，还需要优化它们，使其具有更高的图像分辨率和更快的性能，同时对功能进行改进，例如在行进中扫描，无需人员止步。

总体来说，用于全身扫描系统的毫米波技术在政府、商业和消费领域的应用前景一片光明。ADI公司已经看到一些初创公司开始采用微波和毫米波解决方案来开发下一代人体扫描仪。

### 毫米波人体扫描仪—技术解决方案

如图3所示，总体来看，主动式毫米波人体扫描仪的设计包括天线元件、射频分段（简单起见，将射频、微波和毫米波统称为射频）、混合信号段和数字域。

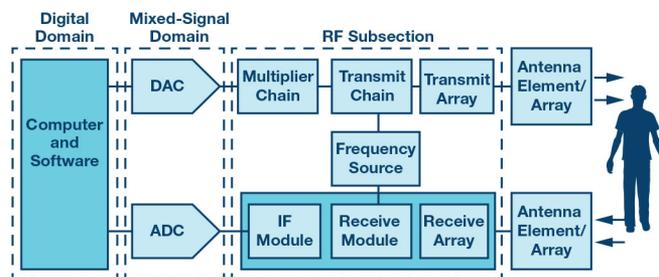


图3. 高水平毫米波人体扫描仪结构框图。

天线元件的物理结构包含用于发射和接收信号的小型天线结构。这些元件背后的射频部分均由高性能半导体硬件（芯片组）组成，它们将发射信号传输至天线元件，并将反射回来的信号通过天线接收。射频部分的设计至关重要，可以确保扫描仪在最短的时间内获取有关目标的最多信息，而不遗漏关键细节。

混合信号部分包括高速模数转换器（ADC）和数模转换器（DAC）。这些ADC和DAC将模拟射频信息转换成扫描仪的计算机可以处理的数字位，以传输射频信号。

最后，数字部分是用于图像处理、扫描和威胁识别的大部分软件算法所在的位置。数字部分的需求通常决定着射频和混合信号部分的需求（如通道数、频率、所需带宽和采样速率）。大多数开发毫米波扫描仪的公司都严格控制扫描仪的数字/软件部分和天线设计。这就是他们让自己的扫描器性能脱颖而出的地方：开发专用软件算法和天线设计，从而以最小尺寸提供最佳分辨率和最快扫描速度。

射频部分和混合信号部分是整个解决方案的关键部分,但大部分扫描仪的整体设计都是相似的。图3和图5分别显示了射频段的发射和接收部分。

如图所示,发射和接收信号链由相同的频率源(频率产生模块)驱动。频率源产生5 GHz到10 GHz的信号,这些信号经过倍频链,放大和倍增两次,在扫描仪的射频操作频段内生成20 GHz到40 GHz的信号。该20 GHz到40 GHz的信号随后经过传输链,根据系统的配置,该信号可能被再次放大,并被滤波,以消除在前面阶段增添的任何杂散。由于大多数扫描仪都在宽频率范围内工作,它们需要一个能够在整个频率范围内进行滤波的滤波器。传统上,单个宽带滤波器很难构建,或者实施起来成本很高。因此,制造商使用一个滤波器组,通过开关将多个窄带滤波器组合起来。这些窄带滤波器一起作为一个宽带滤波器使用。

ADI公司通过使用可调滤波器来简化这种传统架构。通过改变调谐电压,滤波器可以连续调谐到所需的频率。与信号链合用时,ADI的可调带通滤波器可以替代多个滤波器组或放宽对滤波器组的要求。

发射信号被滤波之后会通过一个开关矩阵传输到多个发射通道。根据每个系统集成商的性能要求和天线设计,信号链可能由几十个到几百个发射和接收通道组成。通道的数量通常会影响系统的性能和成本。开关矩阵由多个开关组成,用于接收发射信号并将其分布到多个发射天线元件中。

传统上,这种开关矩阵是通过在SPDT配置中使用PIN二极管和GaAs开关实现的,特别是在高达40 GHz的高频下。对于PIN二极管,每个开关都需要大量的外部元件来控制高偏置电压和电流。随着通道数量增加,这些外围电路会变得更加复杂。同样地,采用GaAs对应元件的设计需要采用多个开关,以便为高通道数构建开关树。

ADI公司采用40 GHz SP4T SOI(绝缘体上的硅)开关简化了这种设计,例如ADRF5046。借助SP4T,设计师可以最多使用四个开关位置,而不是每个开关支持两个开关位置。例如,对于一个简单的12通道系统,3个SP4T开关可以替代多达7个SPDT开关。对于具备更高通道数的系统,随着系统复杂性呈指数增长,SP4T SOI开关的优势更加明显。除了减少开关IC的数量,减少外部元件的数量和降低偏置功率同样重要。ADRF5046的设计采用SOI工艺,可以在低电源电压下,以可忽略的偏置电流运行,且无需任何外部元件,即可接入标准CMOS控

制信号。图4显示了使用老式PIN二极管与新的SOI开关的开关实现方式之间的差异。

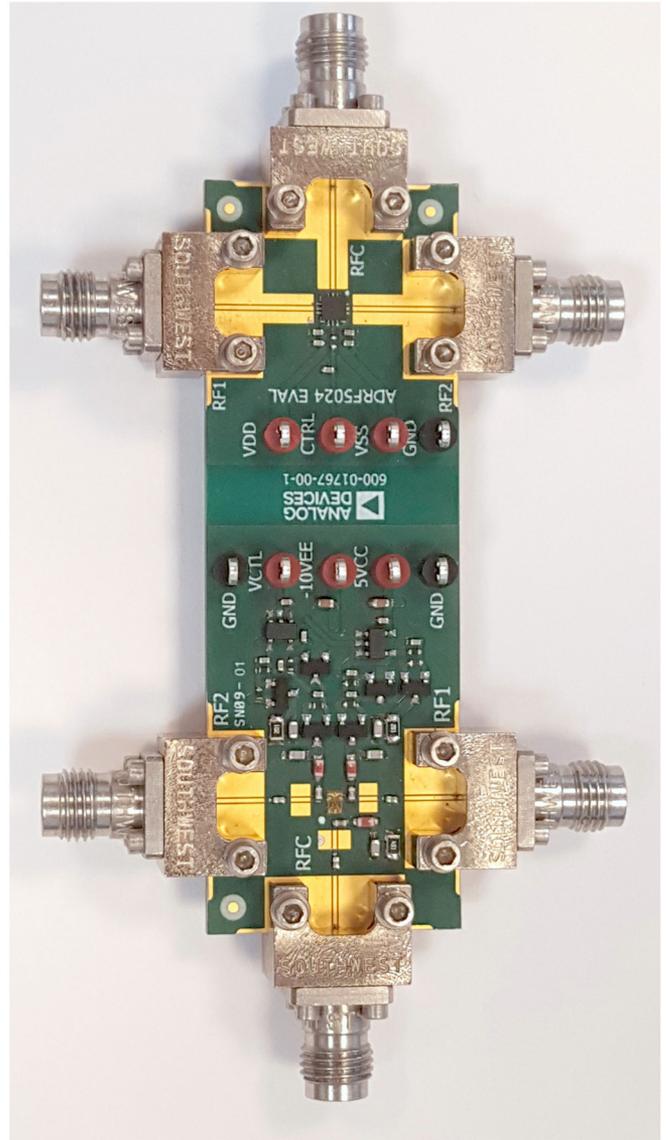


图4. PIN(顶部)与SOI开关(底部)的实现方式比较。

最后,发射信号从发射天线元件发射出去。根据系统架构,单个或多个发射天线可以在任何给定的时间处于工作状态。对于大多数系统,通常有一个发射天线在任何给定的时间处于工作状态。系统可以通过多根发射天线连续线性扫描信号,每次发射的间隔都非常短(只有几 $\mu$ s)。

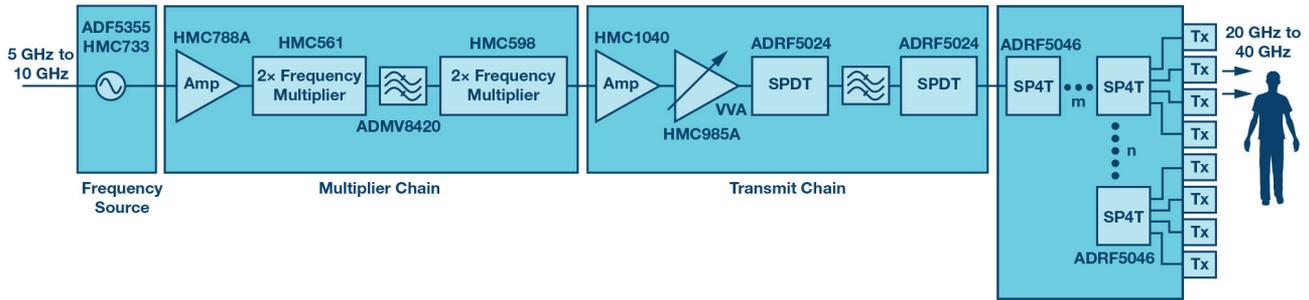


图5. 通用毫米波成像发射(Tx)信号链。

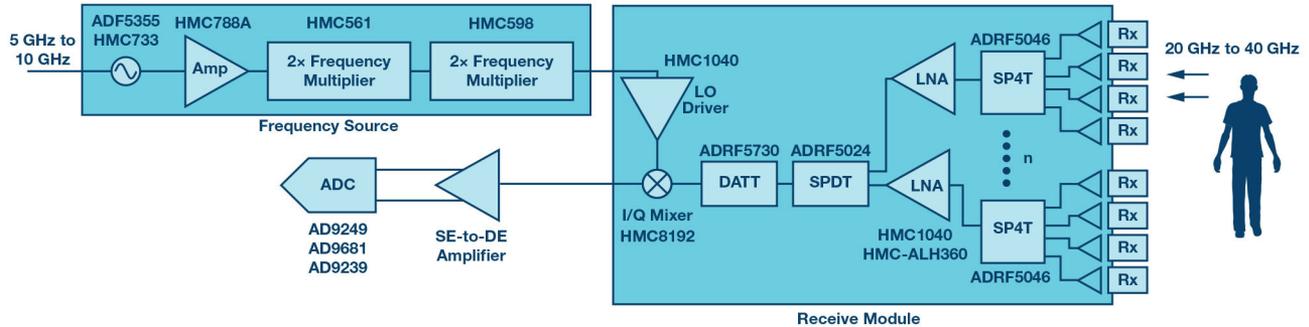


图6. 通用毫米波成像接收(Rx)信号链。

在接收端，多个接收元件同时处于工作状态。接收元件会搜寻来自目标的反射信号。它通过多个通道捕获反射的接收信号，然后让信号通过每个通道的低噪声放大器(LNA)，在不产生额外噪声的情况下放大信号。然后使用与发射端类似的开关矩阵来合并来自多个通道的放大信号。数字衰减器被用于实施增益调节，而SOI工艺中的ADRF5730可以满足快速开关建立要求。接收到的信号随后经过下变频和进一步的放大级。传统上，系统集成商采用超外差结构将高频信号分多个阶段下变频至中频。不过，有了宽带混频器，如HMC8192(20 GHz至42 GHz I/Q混频器)，集成商只需一步即可将高达42 GHz的频率下变频至低中频或基带。这个混频器的本振驱动和发射级使用相同频率源模块。然后，宽带I/Q混频器的IF被馈送到单端转差分放大器，随后与高速ADC进行连接。这种高速ADC将信号数字化，并为运行多种软件算法来检测图像的计算机提供数字输入。

如之前的图所示，ADI公司可以为毫米波人体扫描仪提供从比特到天线和从天线到比特的完整信号链解决方案。借助广泛的射频、微波和毫米波器件产品系列，集成商一定可以找到满足其性能和价格预期的合适器件。要提供从比特到天线的完整天线解决方案，需要具备必要的产品系列、经验和技术支持，而ADI是业内唯一一家满足这一条件的公司。这让制造商无需单独选择、评估每个器件，并为它们议价，从而能够节省大量的时间、金钱和精力。

从射频分段的角度来看，人体扫描仪的精度(分辨率)和速度在很大程度上取决于几个关键因素：

- ▶ **频率范围**决定了扫描仪的穿透特性和可用带宽。通常频率越高，穿透性越强(在某些情况下)，可用带宽越大。带宽越高，分辨率也越好，因为每个频率通道可以传输更多与目标有关的数据。由于波长较短，更高频率的系统需要的天线也更小。因此，多通道系统会采用多根高频小天线。不过，由于半导体设计的复杂性、封装问题以及集成商缺乏高频设计方面的专业知识，要面向大规模商业应用构建基于极高频(>60 GHz)的人体扫描仪设计，成本非常高昂，或者过程非常复杂。因此，目前大多数系统通常设计成使用10 GHz到40 GHz的频率。
- ▶ **通道的数量**决定了可以从多个不同来源获取关于目标的信息。更高通道数通常可以提供更高的目标分辨率和更好的天线空间多样性。增加通道数量需要复制每个通道的硬件内容，这会显著增加射频部分的尺寸和成本。更高通道数还意味着系统需要采用多个高速ADC，这会进一步增加混合信号域的成本。
- ▶ 信号链的**动态范围**决定了人体扫描系统的灵敏度。动态范围越高，系统对小目标和隐蔽目标的检测能力越强。为了提高系统的动态范围，集成商通常会选择线性度极好且噪声系数低的器件。

## 关键成功因素

除了扫描系统的技术性能之外,毫米波人体扫描仪系统集成商或制造商的成功还取决于许多因素。除了扫描仪准确检测小型、隐蔽和危险物体的能力外,该系统还需要快速运行才能在高流量区域使用,需要具有成本效益才能进行大规模部署,还需要提供竞争优势才能确保业务可行性。因此,人体扫描仪制造商的成功取决于以下因素:



图7. 人体扫描仪制造商的关键成功标准。

### 扫描精度

人体扫描仪能否明确区分潜在危险的物体和无关紧要的物体,扫描精度是关键。第一代毫米波扫描仪问题频出,误报率非常高。这就导致需要采用其他手段重新评估风险,大大浪费了时间和经历,并影响心情。提高分辨率和降低误报率的要求通常很难两全。扫描仪的分辨率越高,误报的可能性也越高。因此,大多数系统集成商都努力在分辨率和误报率之间寻求适当的平衡。根据经验,10 GHz到40 GHz的范围可以提供这种宽带覆盖,而品类众多的低噪声器件,例如ADI提供的器件,则可以提供高动态范围。正确的硬件架构和器件选择可以提高系统的分辨率。然后,系统集成商会开发高级软件算法,更智能地解析这种高分辨率图像,确保在首次扫描时即正确识别真正的威胁。

### 缩短上市时间

毫米波人体扫描市场预计将快速增长,吸引着许多新加入者,因此,上市时间是成功的关键,而要确保能够缩短产品上市时间,系统集成商需要采用几家关键供应商提供的更多集成化和模块化器件。这样他们就更不需要分别选择、评估每个分立式器件,以及在信号链中实施它们。相反,通过使用更多集成化和宽带器件,公司可以在硬件设计上花更少的时间,而将更多的时间用在软件差异化上。ADI公司是业界唯一一家提供完整信号链解决方案的公司,可以满足从直流到100 GHz的所有设计需求。多家毫米波系统设计公司依靠这个产品系列来缩短其产品上市时间。

### 小尺寸

为了使毫米波扫描仪得到广泛应用,需要大幅缩小这些扫描仪的尺寸。出于美学或空间不足的原因,下一代扫描仪的尺寸需要变得更小。此外,随着对分辨率的需求不断提高,下一代扫描

仪将需要更多的通道,这意味着硬件和天线数量会越来越多。为了在提高分辨率的同时保持小尺寸,系统集成商需要与ADI公司这样的半导体提供商密切合作,开发出高度集成的芯片组。目前很少有公司有能力开发高达100 GHz的产品,并且以封装形式提供,同时同一器件中集成多种功能。ADI公司在这种高频集成(例如,E波段发射和接收SiP)和多通道设计(例如,24 GHz 4通道雷达解决方案)方面处于行业优先地位,凭借此类高频、集成化和封装器件,这种设计仍然走在市场前列。

### 平台方法

为了确保毫米波扫描仪不成为只维持一代的产品,而是可以随着时间的推移不断发展,系统集成商需要采用平台设计方法。这意味着集成商选择的器件应该为他们提供一条路径,让他们能够在多代全身扫描解决方案中使用相同的硬件架构。这样,每当集成商希望改进解决方案,以提高性能、速度或降低成本时,他们无需重新设计信号链中的每个组件。

为此,他们可以做出正确的长期选择,比如利用宽带器件而不是窄带器件。这样,即使集成商修改了频率计划或计划利用更高的频率来获得更高的带宽,也不需要寻找新的器件。同样的宽带器件就可以满足新系统的需求。

同样,通过使用同一家供应商的多个器件,集成商可以与该供应商合作,将多个功能集成到单个芯片或单个封装中。ADI公司提供广泛的宽带器件产品系列,因此提供了独一无二的机会来持续升级硬件架构,而无需每次重新设计。

### 成本更低的解决方案

最后,成本是确保扫描解决方案具备业务可行性的重要因素。要让全身扫描仪广泛应用于除机场以外的商业应用场合,系统集成商需要大幅降低价格。这给他们的成本结构带来了巨大压力。一方面,他们需要增加通道数量,使用更宽频段和更高频率的器件,这会增加系统成本,但另一方面,市场需要更低的成本结构。因此,集成商需要寻找更新颖、更有创意的方法来降低成本。以下是集成商降低系统总成本并实现毛利润最大化的一些潜在方法:

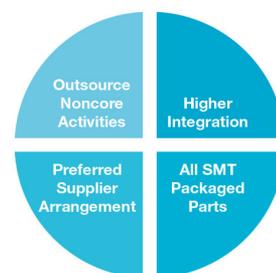


图8. 降低全身扫描仪成本的方法。

- **提高集成度:** 集成商可以利用将多个功能集成到一起的器件,显著减少构建信号链所需的组件数量。组件越少,需要组装的

器件数量越少，这意味着组装速度更快，PCB尺寸更小，需要支持的设计也更简单。从长远来看，这意味着构建成本更低，为扫描系统提供技术支持的能力也更强。

- ▶ **全封装器件：**通过使用全封装器件，即使在高频率下，集成商也不需要采用特殊的组装方法来组装裸片。这样集成商就无需采用成本高昂的组装技术（例如用于裸片的芯片和电线），而是可以使用更简单的SMT封装焊接。目前，很少有半导体公司具备提供高频封装器件的专业知识。仅有几家公司可以提供经过验证的、高达86 GHz的封装解决方案，ADI公司就是其中之一。集成商应该精挑细选一家可提供一系列SMT封装产品的长期设计合作伙伴。
- ▶ **首选供应商安排：**系统集成商应尽量减少构建整体解决方案所需的供应商数量。这样集成商便可获得更大的议价（买方）权，同时在多个平台上利用同一家供应商带来的规模经济优势。因此，集成商应该选择能为他们提供合适的解决方案和未来路径的正确行业合作伙伴。
- ▶ **外包非核心技术工作：**如前所述，对于大多数开发全身扫描仪的系统集成商而言，核心专业知识是用于成像和检测的软件算法。这些软件算法支持以高分辨率检测小型物体，同时减少误报率。大多数情况下，半导体硬件需求都是由软件需求推动的。因此，为了最大限度地发挥各公司的核心功能优势，并确保加快上市时间，系统集成商应考虑将硬件开发外包给拥有硬件专业知识的公司。这样一来，集成商就可以专注于自己的核心功能，让硬件专家利用最新的技术进步开发最先进的硬件平台。

随着毫米波技术越来越注重系统和解决方案，以ADI公司为代表的半导体公司可凭借其完整的信号链解决方案提供独特的优势。通过外包系统设计，集成商可以专注于自己的核心竞争力，而且由于绕开了非核心功能，同时利用了与一家供应商合作的规模经济优势，还可以降低成本。

综上所述，微波和毫米波全身扫描仪正在成为全球安全和检测系统的重要组成部分。通过利用最新的技术进步，做出正确的设计选择，并建立最佳的战略伙伴关系，系统集成商可以让其解决方

案脱颖而出。以ADI公司为代表的半导体公司正在为实现下一代毫米波全身扫描仪全力以赴，并期待与系统集成商精诚合作，共同开发更准确、快速且更具商业可行性的全身扫描系统，构建一个全新生态系统。

## 参考文献

“全身扫描仪全球市场：趋势、推动因素和预测。” *Global Industry Analysts, Inc.*, 2015年4月。

“按技术（毫米波扫描仪（有源扫描仪、无源扫描仪）和后向散射X射线）、机场类别（A类、B类、C类）和区域划分的机场全身扫描仪市场——至2021年的全球预测。” *MarketsandMarkets Research Private Ltd.*, 2016年4月。

## 作者简介

*Abhishek Kapoor*是ADI公司射频与微波部（RFMG）的市场开发经理。他负责制定整体市场策略，以及在新兴市场赢得业务。在*Abhishek*职业生涯中，他从事过射频和半导体行业的工程、产品管理、销售、市场营销和业务开发等多种工作。他于2007年获得弗吉尼亚理工学院电气工程学士学位，2013年获得北卡罗来纳大学Kenan-Flagler商学院（Chapel Hill）工商管理硕士学位。

*Bilge Bayrakci*是ADI公司射频和微波控制产品部的市场营销和产品经理。他拥有伊斯坦布尔技术大学颁发的电气工程硕士学位，拥有20多年半导体行业从业经验。他于2009年加入ADI公司。联系方式：[bilge.bayrakci@analog.com](mailto:bilge.bayrakci@analog.com)。

## 在线支持社区

访问ADI在线支持社区，  
与ADI技术专家互动。提

出您的棘手设计问题、浏览常见问题解答，或参与讨论。

请访问 [ezchina.analog.com](http://ezchina.analog.com)



**全球总部**  
One Technology Way  
P.O. Box 9106, Norwood, MA  
02062-9106 U.S.A.  
Tel: (1 781) 329 4700  
Fax: (1 781) 461 3113

**大中华区总部**  
上海市浦东新区张江高科技园区  
祖冲之路2290号展想广场5楼  
邮编: 201203  
电话: (86 21) 2320 8000  
传真: (86 21) 2320 8222

**深圳分公司**  
深圳市福田区  
益田路与福华三路交汇处  
深圳国际商会中心  
4205-4210室  
邮编: 518048  
电话: (86 755) 8202 3200  
传真: (86 755) 8202 3222

**北京分公司**  
北京市海淀区西小口路66号  
中关村东升科技园  
B-6号楼A座一层  
邮编: 100191  
电话: (86 10) 5987 1000  
传真: (86 10) 6298 3574

**武汉分公司**  
湖北省武汉市东湖高新区  
珞瑜路889号光谷国际广场  
写字楼B座2403-2405室  
邮编: 430073  
电话: (86 27) 8715 9968  
传真: (86 27) 8715 9931

©2019 Analog Devices, Inc. All rights reserved. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Ahead of What's Possible is a trademark of Analog Devices. TA20984sc-0-1/19

[analog.com/cn](http://analog.com/cn)

