



## **IEEE 802.11ac 第 2 代无线接入点性能比较**

**Cisco Aironet 1852i**

**Aruba AP-325**

**Ruckus R710**



DR151120C  
2015 年 12 月

Miercom  
[www.miercom.com](http://www.miercom.com)

## 目录

1 - 执行概要.....	3
2 - 测试产品.....	4
思科.....	6
Aruba.....	7
Ruckus.....	7
4 - 测试基床设置.....	9
5 - 客户端高密度接入测试，每无线接入点连接客户端数量从 10 个扩展到 100 个.....	11
6 - 多用户 MIMO (MU-MIMO) 与单用户 MIMO (SU-MIMO).....	15
7 - 无线吞吐超出 1Gbps 时的链路聚合(LAG).....	20
8 - 总结.....	22
9 - 独立评估.....	23
10 - 关于 Miercom.....	23
11 - 报告阅读指南.....	23

## 1 - 执行概要

Miercom 致力于对市场中 IEEE 802.11ac 第 2 代 WiFi 无线接入点 (AP) 的竞争产品开展独立的实际测试，这些产品分别来自 Cisco Systems、Aruba Networks 和 Ruckus Wireless。

本报告总结了以下领域中第 2 代 802.11ac 无线接入点竞争产品测试的结果：

- 客户端高密度：每无线接入点连接客户端的数量从 10 扩充到 100 时的下行链路吞吐量。
- 单用户与多用户 MIMO：MU-MIMO（多用户-多输入多输出）的下行链路吞吐量与单用户 MIMO(SU-MIMO)的比较，MU-MIMO 是第 2 代 802.11ac 的一大特点。
- 无线吞吐超出 1Gbps 时的链路聚合(LAG)：通过在两个 1 Gbps LAG（链路聚合）连接上测试第 2 代无线接入点是否支持超过 1 Gbps 的聚合链路吞吐量。

### 主要发现：

思科无线接入点 在较低成本下达到或超过了 Aruba 和 Ruckus 性能	相比 Aruba AP-325 和 Ruckus R710，Cisco 1852i 第 2 代无线接入点几乎在所有测试中都表现出最佳的性能。尽管如此，思科的标价比 Aruba 和 Ruckus 低 300 到 400 美元。
随着客户端数量接近 100，所有无线接入点的吞吐量均有所下降	测试发现，随着连接客户端的数量从 10 增长到 100，所有无线接入点的吞吐量均有所下降。这一测试中性能最佳的无线接入点是思科的 Cisco 3700，表现最差的则是 Aruba AP-325。其他产品，包括低成本的 Cisco 1852i、1832i 以及 Ruckus R710 性能相当。
客户端数量增加到 100 时，思科可以尽可能的减少未能获得足够流量的客户端数	随着每无线接入点连接客户端密度的上升，越来越多的 WiFi 客户端将无法获得带宽。在此测试中，当每无线接入点的客户端数量增加到 80 到 100 时，思科的低成本无线接入点相比 Aruba 或 Ruckus 可以保持更多客户端的连接。
思科比 Aruba 或 Ruckus 更好地利用了多用户 MIMO	在此测试中，使用多用户 MIMO 客户端取代单用户 MIMO 客户端并测量吞吐量的差异。胜出者为 Cisco 1852i，第 2 代多用户 MIMO 客户端相比旧的单用户 MIMO 客户端的吞吐量几乎翻番。
只有 Cisco 1852i 可以提供超过 1 Gbps 的聚合吞吐量	低成本 Cisco 1852i 无线接入点提供了真正的超过 1 Gbps 的聚合下行链路吞吐量，而在完全相同的环境下，Ruckus R710 只能达到 570 Mbps，而 Aruba AP-325 只有 350 Mbps。

Miercom 独立验证了思科的第二代 802.11ac 无线接入点与同级别但价格更高的 Aruba Networks 和 Ruckus Wireless 的无线接入点之间的主要性能差异。由于其展现出超过了 Aruba 和 Ruckus 的性能，我们将 **Miercom 认证性能证** 书授予 Cisco 1852i WiFi 无线接入点。

Robert Smithers CEO  
Miercom



## 2 - 所测试产品

第 2 代是指根据最新正式批准的 IEEE 802.11 WiFi 规范 IEEE 802.11ac 标准生产的产品。此报告包括第 2 代无线接入点 (AP) 的一些第一手的独立性能比较数据。

在 2012 年到 2013 年间，有大量根据当时最新确定的 802.11ac 规范草案生产的 WiFi 产品（据估算超过 200 种）投向了市场。这些形形色色的产品现在称为第 1 代产品，基于当时的最新草案。802.11ac 在 2013 年末才得到正式的最终采用，增添了一些未包括在最新草案中的技术改进。根据最终正式采用的 802.11ac 版本生产的产品称为第 2 代产品，自 2014 年开始发货。

用户有充分理由相信第 1 代和第 2 代产品可以实现完全的互操作性。这是因为作为第 2 代产品基础的最初正式发布的 IEEE 802.11ac 规范完全包含了第 1 代产品所基于的规范草案。

802.11ac 是 IEEE 802.11 委员会自 1997 年以来发布的六个 Wi-Fi 标准中最新的一个，这些标准每一个相比前一个都具有一些技术进步和性能改进。这些 WiFi 产品标签包括 802.11 a、b、g、n 以及最新的 ac。这些标准演变过程中的特性包括距离提升、客户端密度增加，以及对用户最重要的每客户端和每无线接入点的吞吐量增加。

下图将 IEEE 802.11n 的主要操作特性（这是在 2009 年采用的上一个重要 WiFi 标准）与现在的 802.11ac 第 1 代和第 2 代产品进行了比较。

### WiFi 演进：IEEE 802.11n ▶ 第 1 代 802.11ac ▶ 第 2 代 802.11ac

产品基于	IEEE 802.11n	IEEE 802.11ac 第 1 代	IEEE 802.11ac 第 2 代
标准基础	标准采用于 2009 年 10 月	802.11ac 的最后 确定草稿	标准采用于 2013 年 12 月
频段 (GHz)	2.4 和 5 (可选)	5	5
信道宽度	20 和 40 MHz	20、40 和 80 MHz	20, 40, 80, 80-80 & 160 MHz
多输入、 多输出 (MIMO) 支持	单用户 (SU-MIMO)	单用户 (SU-MIMO)	多用户 (MU-MIMO), <b>(2)</b>
空间流 数量 <b>(1)</b>	2 - 4	3	3 - 4 (可选)
调制 (正交 幅度调制)	64 QAM (速率 5/6)	256 QAM (速率 3/4 和 5/6)	256 QAM (速率 3/4 和 5/6)
理论容量 (3 个空间流时的 物理速率, ) <b>(3)</b>	450 Mbps	1300 Mbps	2600 Mbps

资料来源：Miercom；图表为来自不同公开资料的概略，包括 IEEE 和 Wikipedia。

注释：

- (1) 空间流：支持的发送和接收天线数量，更多的空间流有助于提升数据速率和距离。
- (2) MU-MIMO：多用户-多输入多输出，可以提升客户端密度，同时支持的客户端数量依赖于波束成型支持。
- (3) 以上理论容量基于物理层连接速率和以下配置：
  - 802.11n：三个空间流，每个空间流 150 Mbps；在 40 MHz 信道，400 纳秒保护间隔，64-QAM 调制，速率 5/6 条件下。
  - 第 1 代：三个空间流，每个空间流 433.3 Mbps；在 80 MHz 信道，400 纳秒保护间隔，256-QAM 调制，速率 5/6 条件下。
  - 第 2 代：三个空间流，每个空间流 866.7 Mbps；在 160 MHz 信道，400 纳秒保护间隔，256-QAM 调制，速率 5/6 条件下。

表中显示了产品中内置规格的特性，并不一定是特定标准所允许的最大值。例如，虽然 IEEE 802.11ac 标准允许 802.11ac 兼容设备最多支持八个空间流，但是第 2 代产品支持最多三个（可选四个）下行链路空间流。

在数据速率方面也是如此。标准指定的数据速率是物理层（即 PHY 级别）支持的速率。但是，这与用户所体验到的数据速率并不相当。物理层之上的开销，例如 MAC 和以太网层面、IP 层和第 4 层的 UDP（特别是 TCP）将减少实际生效的可用数据速率。此外，预测的最大数据速率通常假定完美的 WiFi 环境，没有干扰和其他电磁辐射异常，这是极少见的案例，在实际部署中不存在。

简而言之，相比第 1 代 802.11ac 产品以及更早的 Wi-Fi 标准，第 2 代 802.11ac 产品有四个显著的优势：

- (1) 更高的数据速率：5 GHz 频带中最高支持 2.6 Gbps
- (2) 多用户 MIMO（多输入多输出）支持
- (3) 160-MHz 信道宽度支持；这是增加数据速率的关键，基本上在第 1 代产品上翻番
- (4) 四个空间流：支持四根发送和接收天线，与之对比的是第 1 代 802.11ac 产品只有三根。

IEEE 802.11ac 是否为最后的 WiFi 标准？几乎可以肯定不是，因为无线技术在不断发展。多个其他 802.11 委员会已经在着手开发未来的 WiFi 标准，根据所有迹象来看，甚至将提供更高的数据速率、密度和距离。未来的 WiFi 标准着眼于更高的频率（远高于 IEEE 802.11ac 的 5 GHz 频带），并且数据速率可达 100 Gbps。

首先进入市场的第 2 代 802.11ac 无线接入点面向室内部署。基于同样规格的户外产品现在也已发货。不过，在此测试中仍决定比较来自业界领先者思科、Aruba 和 Ruckus 的更为成熟的室内无线接入点型号的性能。

接受测试的具体型号在下文详述。

## 思科

思科 Aironet 1850（测试型号为 1852i）是目前市场上成本最低（标价 995 美元）而性能最佳的第 2 代 802.11ac 无线接入点。我们的测试结果也倾向于支持这一声明。该无线接入点面向中型企业和服务提供商网络，思科的大部分无线控制器（包括我们在测试中使用的 CT5520）以及面向 Catalyst 6500 和 3650/3850 模块化交换机的最新无线模块均支持该无线接入点。

思科 1850 支持 80 MHz 信道，完全支持多输入/多输出 (MIMO) 操作和 4x4 MIMO，对于单用户 MIMO 有四个空间流。多用户 MIMO 模式支持三个空间流。为了实现向后兼容性，无线接入点连接支持 IEEE 802.11 a、g 和 n 设备。



**Cisco 1850**

在一些测试中包括了思科高端的 Aironet 3700 系列之 3702i 型号，用于比较 Aironet 1852i 与高端无线接入点的性能。3702i 是第 1 代 802.11ac 无线接入点，支持 4x4 MIMO 以及三个空间流，80-MHz 信道，通过思科高密度接入体验 (Cisco High Density Experience - HDX)，物理数据连接速率可达 1.3 Gbps。HDX 是一套可在充满挑战的高密度环境中改进性能的技术套件。射频支持提供了与 802.11 a、b、g 和 n 设备的后向兼容性。

## Aruba

所测试的 Aruba 无线接入点为 AP-325，是 Arub AP-320 系列中的一个型号，配有内置天线。无线接入点的标价为 1,395 美元，比思科 1852i 贵 400 美元。



### Aruba AP-325

型号配有内置天线

Aruba AP-325 具有 IEEE 802.11 a、b、g 和 n 以及第 2 代 802.11ac 射频支持。在第 2 代 802.11ac 环境中，AP-325 支持 4x4 多用户 MIMO (MU-MIMO) 和三个空间流，单用户 MIMO (SU-MIMO) 下为四个空间流。该设备包含八个集成全向天线。

## Ruckus

在此次性能比较测试中选择了 Ruckus ZoneFlex R710 无线接入点。R710 的标价为 1,295 美元，比思科 Aironet 1850 贵 300 美元。与所测试的其他无线接入点一样，R710 支持单用户和多用户操作 (SU-MIMO 和 MU-MIMO)。单用户 MIMO 支持四个空间流；多用户 MIMO 支持三个空间流。与所测试的其他无线接入点一样，R710 也支持所有之前的 WiFi 规范。

### Ruckus R710

配有内置天线



下表详细说明了参与测试的第 2 代 802.11ac 无线接入点的突出特性，及其相应的无线控制器。

**表 1: 参与测试的室内、企业级第 2 代 802.11ac 无线接入点**

	Aruba AP-325	Ruckus R710	Cisco AP 1832i	Cisco AP 1852i	Cisco AP 3702i
最大 PHY 数据速率 (使用 5 GHz 频段)	1.7 Gbps	1.7 Gbps	870 Mbps	1.7 Gbps	1.3 Gbps
第 2 代射频设计 (SU-MIMO 和 MU-MIMO)	4x4: 4SS SU-MIMO	4x4: 4SS SU-MIMO	3x3: 2SS SU-MIMO	4x4: 4SS SU-MIMO	4x4: 3SS SU-MIMO
	4x4: 3SS MU-MIMO	4x4: 3SS MU-MIMO	3x3: 2SS MU-MIMO	4x4: 3SS, MU-MIMO	N/A
标价 (1)	1,395 美元 (4x4: 4SS)	1,295 美元 (4x4: 4SS)	695 美元 (3x3: 2SS)	995 美元 (4x4: 4SS)	1,495 美元 (4x4: 3SS)
所测试无线控制器 和软件发行版	Aruba 7240 v6.4.4.1	Ruckus ZD3000 v9.1.12.1.0.148	Cisco CT5520 V8.1.131.0	Cisco CT5520 V8.1.131.0	Cisco CT5520 V8.1.131.0

(1) 基于供应商公布的价格。

注释:

SS: 空间流

SU-MIMO: 单用户，多输入多输出

MU-MIMO: 多用户，多输入多输出，需要第 2 代 802.11ac 客户端支持，无线接入点可以同时传输数据到多个第 2 代 802.11ac 客户端。

3x3, 4x4: 3x3 MIMO 无线接入点配有三根天线和射频，可以通过三个空间流流进行传输和接收。

4x4 无线接入点具有四根天线和射频，可以通过四个空间流发送和接收。



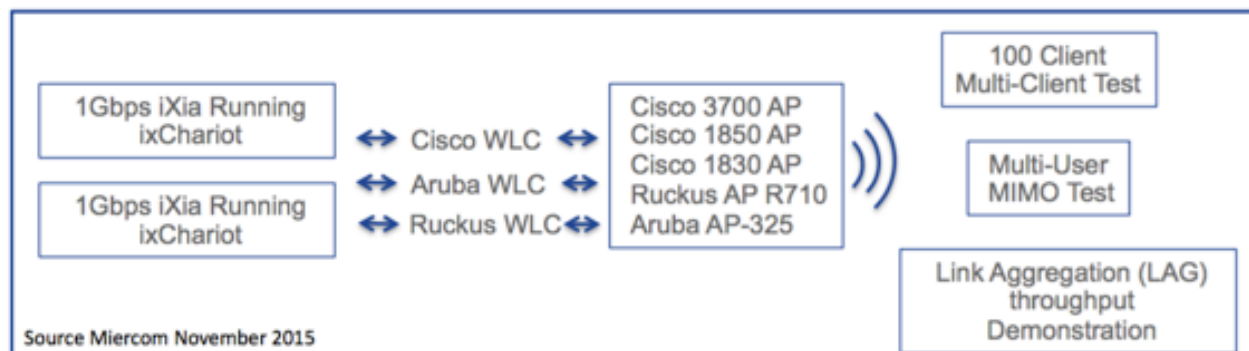
## 4 - 测试基床设置

参与测试的第 2 代 802.11ac 无线接入点均为室内型号。最初涌现的第 2 代 802.11ac 产品均面向室内部署，虽然现在面向户外使用的型号也已上市。

实验室专门针对无线产品测试设计。大型室内实验室可有效重现大型办公环境。为了尽可能减少变量，所有无线接入点竞争产品的测试均在同一间屋内完成，一次只启用一个无线接入点，所有无线接入点均在完全相同的客户端部署中测试。

实验台配置包括两个吊顶安装无线接入点，向其提供两个千兆位以太网铜缆链路。无线接入点安装在吊顶之下，每个测试中一次只启用一个无线接入点。另外我们还获取了用于思科、Aruba 和 Ruckus 的无线控制器 (WLC)，按照每个供应商公开的最佳实践进行部署配置，同时使用最新公开发布的软件。

实验台中还包括两个 Ixia 测试系统（请参见 [www.ixiacom.com](http://www.ixiacom.com)），每个测试系统均可提供完全的千兆位每秒的定制测试流量。我们主要使用 TCP 流量，使用 IP 地址对将测试系统与各个客户端关联。两个 Ixia 测试系统可以向各个无线接入点提供完全的 2 Gbps 流量，流量通过无线接入点发送到客户端无线设备（请参见下图中的实验台）。在大部分测试中，只需一个测试系统提供最高 1 Gbps 的测试流量便已足够。不过，对于我们的“链路聚合”测试，两个 Ixia 系统同时连接到一个无线接入点以聚合超过 1 Gbps 的吞吐量。



Ixia 测试系统均运行 IxChariot 这一通过脚本驱动的 GUI 应用程序用于定义和生成定制测试流量。一次仅主动连接、激活和启用一个 AP。所有测试的客户端分布在实验室内，保持在相同位置，直至所有无线接入点均已完成特定测试。只有特定测试案例需要的客户端才启用和连接 WiFi。

对于每个测试案例，编写 IxChariot 脚本来执行标准吞吐量测试。根据测试的具体情况发送 60-120 秒的流量，对于多次 IxChariot 运行计算平均吞吐量。本报告中包括的吞吐量测量结果均为在测试中流经无线接入点的聚合下行链路吞吐量。

将每次测试的预试运行用作基准。这非常有用，因为如果有任何吞吐量测试低于基准，则将重新运行该测试。

以下为思科 1852i 无线接入点测试的示例 IxChariot 屏幕截图。测试 30 个多用户 MIMO 客户端的吞吐量。此屏幕截图在底部显示了监视的吞吐量级别，通过 60 秒的测试运行获取。

Group	Pair Group Name	Run Status	Timing Records Completed	95% Confidence Interval	Average (Mbps)	Minimum (Mbps)	Maximum (Mbps)	Measured Time (sec)	Relative Precision
<b>All Pairs</b>			<b>485</b>		<b>84.039</b>	<b>0.332</b>	<b>21.220</b>		
Pair 1	No Group	Finished	11	-0.531 : +0.531	1.919	1.181	4.454	45.849	27.674
Pair 2	No Group	Finished	12	-0.549 : +0.549	2.094	1.268	4.619	45.854	26.219
Pair 3	No Group	Finished	5	-0.784 : +0.784	2.398	1.745	3.416	16.678	32.674
Pair 4	No Group	Finished	21	-2.295 : +2.295	3.802	0.580	12.442	44.186	60.353
Pair 5	No Group	Finished	13	-0.869 : +0.869	2.318	0.829	4.449	44.864	37.491
Pair 6	No Group	Finished	23	-0.562 : +0.562	3.999	2.368	7.401	46.010	14.061
Pair 7	No Group	Finished	27	-0.937 : +0.937	6.884	3.635	11.331	31.378	13.611
Pair 8	No Group	Finished	67	-0.789 : +0.789	11.648	5.457	21.220	46.016	6.778
Pair 9	No Group	Finished	11	-1.220 : +1.220	1.985	0.562	5.402	44.342	61.480
Pair 10	No Group	Abandoned	29	-3.479 : +3.479	6.962	0.907	13.378	33.324	49.974
Pair 11	No Group	Finished	56	-0.753 : +0.753	9.753	5.384	15.842	45.935	7.716
Pair 12	No Group	Finished	15	-0.917 : +0.917	2.622	0.938	6.431	45.760	34.975
Pair 13	No Group	Finished	15	-0.891 : +0.891	2.613	1.257	9.901	45.933	34.103
Pair 14	No Group	Finished	36	-0.988 : +0.988	8.682	4.253	15.180	32.249	11.382
Pair 15	No Group	Finished	28	-1.102 : +1.102	4.881	1.547	8.801	45.891	22.584
Pair 16	No Group	Finished	10	-1.919 : +1.919	1.754	0.332	6.661	45.619	109.402
Pair 17	No Group	Finished	50	-0.808 : +0.808	8.699	3.867	17.467	45.981	9.288
Pair 18	No Group	Finished	27	-1.426 : +1.426	4.887	1.266	9.799	44.113	29.100

### 测试案例

以下部分中详细说明了运行的测试案例。在每次测试中，仔细测量并报告了各无线接入点的聚合下行链路吞吐量。测试案例为：

1. 客户端高密度接入测试，每无线接入点连接客户端数量从 10 个扩展到 100 个
2. 多用户 MIMO (MU-MIMO) 与单用户 MIMO (SU-MIMO)
3. 无线吞吐超出 1Gbps 时的链路聚合(LAG)

## 5 - 客户端高密度接入测试，每无线接入点连接客户端数量从 10 个扩展到 100 个

### 测试目标

用于测量客户端数量从 10 个增长到 100 个时各厂商无线接入点的表现如何。此外还记录了在测试期间无法传输任何数据的活动（工作）客户端数量。

### 测试方法

配备了 100 个不同类型的真实 WiFi 客户端，详见下表：

客户端设备	总数	WiFi 支持， 无空间流 MIMO 支持	初始 10 个设备 设置	以 10 为单位 增加时添加 的数量
MacBook Pro	10	802.11n, 3SS, SU-MIMO	1	1
iPad Air	10	802.11n, 2SS, SU-MIMO	1	1
Dell E6430, 使用 Broadcom 43460	10	802.11ac, 3SS, SU-MIMO	1	1
MacBook Pro	20	802.11ac, 3SS, SU-MIMO	2	2
MacBook Air	20	802.11ac, 2SS, SU-MIMO	2	2
Dell E6430, 使用 Intel 7260	30	802.11ac, 2SS, SU-MIMO	3	3

下表中列出的客户端设备在房间内排列，不同类型的设备均匀分布，如下所示。



*均匀分布。客户端分布在围绕着无线接入点的桌面上，距离从 10 英尺（3 米）到 45 英尺（13.7 米）。*



实验设备的全景图如上所示。测试无线接入点安装在吊顶下，如图所示。

为了实现最大的吞吐量，无线接入点均设置为 80-MHz 信道。在测试中，客户端的位置与无线接入点的距离在 10 到 45 英尺内。测试过程中，采用 70/30 的混合比维护 5 GHz 下工作的客户端 (70%) 和 2.4 GHz 下工作的客户端 (30%)。

### 下行链路 TCP 吞吐量

Ixia IxChariot 测试系统配置通过 GE (1 Gbps 以太网) 链路向测试中的无线接入点提供 TCP 流量，并通过无线接入点提供给各个活动客户端设备。每个无线接入点支持两个 RJ-45/铜缆 GE 链路。

首先在 10 个客户端设备上运行多个测试，如前面客户端列表中所示。对该组的测试完毕时，以增量方式逐次向每组测试中添加 10 个活动客户端，直至所有 100 个客户端设备均进行了测试。

在每次测试中，IxChariot 测量单个客户端以及聚合下行链路 TCP 吞吐量。然后，对每个客户端负载级别计算三次 IxChariot 测试运行结果的平均值。

### 失败的客户端和无线接入点

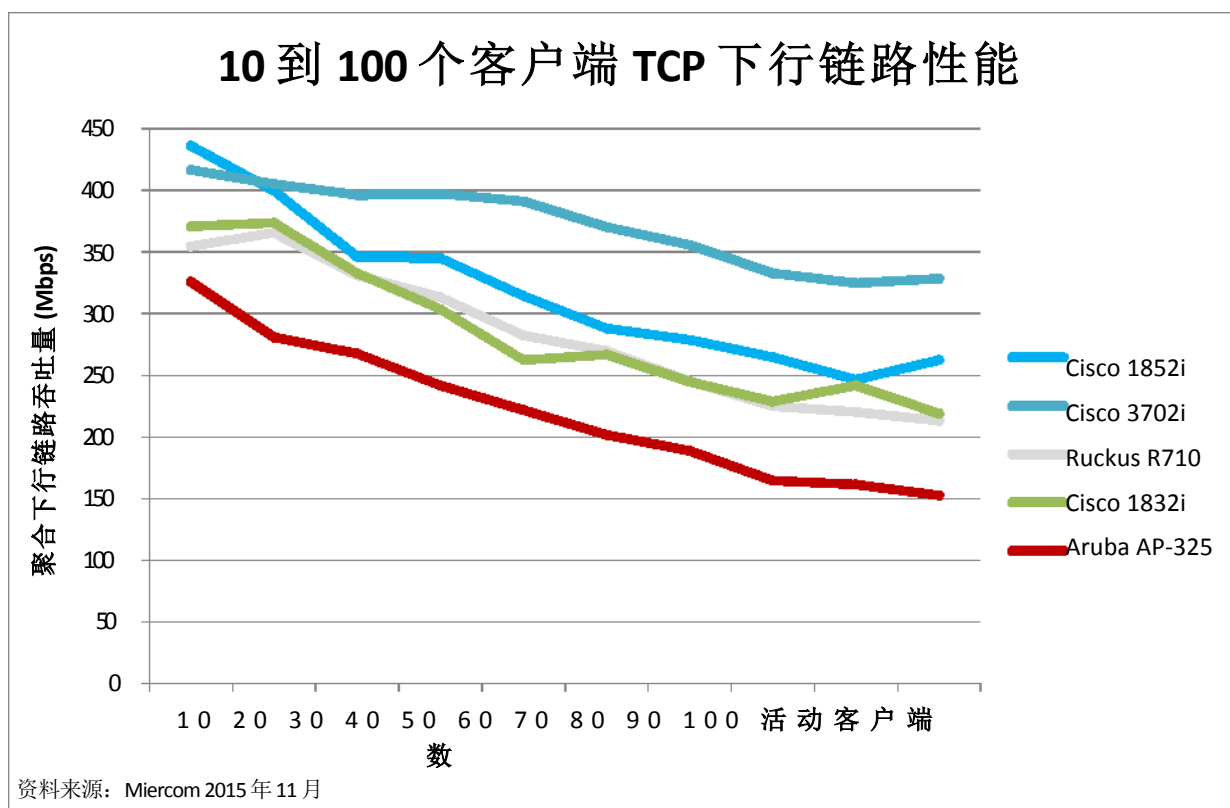
测试期间，我们必须处理两种影响结果的故障类型：1) 客户端故障以及 2) 无线接入点故障。

在一些测试运行中，一个或多个客户端可能会丢失网络连接（例如，由于 DHCP 故障）。在测试期间或测试完成后，这些客户端无法通过 ping 访问。此类“客户端故障”案例会导致整体聚合吞吐量低于预期值。在这种情况下，将重新建立与所缺少客户端的无线连接并重新运行测试。

在另一些情况下，一个或多个客户端仍可通过 ping 访问，但在测试期间无法通过无线接入点发送任何数据包。大部分情况下，此类故障是由于无线接入点未能在所有客户端之间分享带宽所造成。这些是在 WiFi 网络中发生的真实情况，特别是在高客户端密度环境中。对出现的这种无带宽客户端进行记录，此时客户端不发送或接收数据。（在这些测试中发送的流量类型 TCP 确保通信会话的两端均活动并可以发送和接收，然后才传输任何数据。因此，IxChariot 测试系统可以准确识别测试期间未发送或接收数据的客户端。）

## 结果

下图显示了随着客户端的数量从 10 个增加到 100 个期间所测试无线接入点的聚合下行链路吞吐量变动。



测试中包括了思科 3702i 以展示思科高端无线接入点的性能。

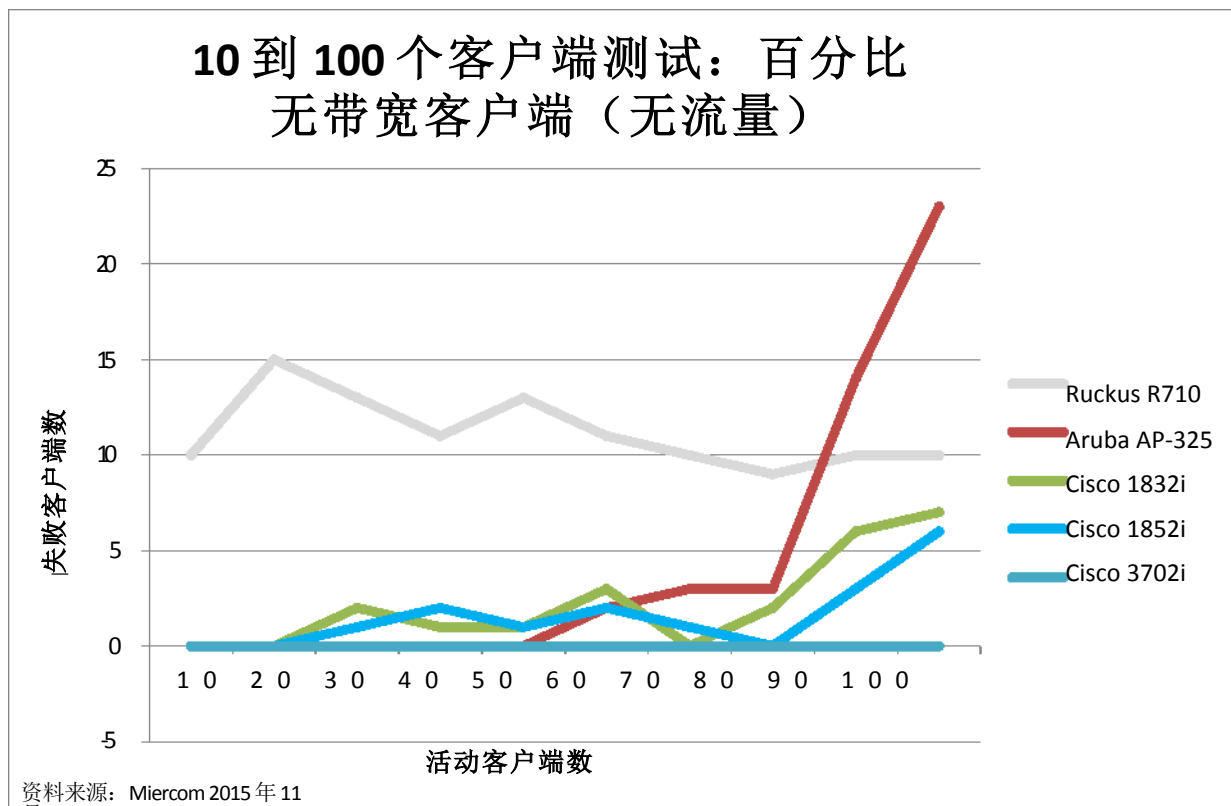
使用这种真实应用中的客户端、频段和 IEEE 802.11 技术混合, 结果表明思科 1852i 无线接入点的性能要优于 Ruckus R710 或 Aruba AP-325。

在所有测试中, 随着客户端数量的增长, 整体平均吞吐量略有下降。但是, 思科无线接入点在所有客户端密度测试范围中提供了相当的性能, 尽管 1852i 的成本较低。

### 失败的客户端。

如前所述, 我们记录了在测试运行期间及运行之后有一个或多个客户端仍然能够 ping、但在测试期间无法发送或接收数据。我们判定这些为“无带宽”客户端, 原因是无线接入点无法与所有客户端分享带宽。

下图显示了一个或多个客户端在吞吐量测试期间未能发送或接收数据的情况。这些平均值源自多次测试，因此表示在各个客户端密度级别下，各厂商无线接入点的“无带宽”客户端百分比。



此图显示思科无线接入点表现良好，充分在客户端之间分享带宽，即使在客户端的数量达到 100 时。

除了 Ruckus R710 之外（在其大部分测试运行期间，倾向于出现一个或多个此类无带宽客户端），在至少有 30 个客户端之前，其他无线接入点未出现这种情况。Aruba AP-325 在这一方面表现非常好，直到客户端数量超过 80。超过 80 之后，可以看到 Aruba AP-325 的无带宽客户端数量百分比急剧增加。

我们注意到，思科高端的 Aironet 3702i 即使在有 100 个并行活动客户端时也能很好地共享带宽。在 3702i 无线接入点的所有吞吐量测试中，我们未遇到一起“无带宽”客户端的案例。

## 6 - 多用户 MIMO (MU-MIMO) 与单用户 MIMO (SU-MIMO)

### 测试目标

多输入多输出 (MIMO) 功能在 802.11n 及第 1 代 802.11ac 产品中便已支持，但仅限单用户模式 (SU-MIMO)。不过，第 2 代 802.11ac 中的新功能-多用户 MIMO 在第 1 代产品中并不支持。要使 MU-MIMO 正常工作，无线接入点和客户端上均需支持该功能。MU-MIMO 作用在无线接入点向客户端的下行数据传输上，使得无线接入点可以同时传输数据到多个客户端设备。

此测试显示多用户 MIMO 相比单用户 MIMO 的吞吐量优势。该测试从 10 个 SU-MIMO 客户端起步，然后逐个使用 MU-MIMO 客户端来替换。各厂商的带宽增益如图所示。

此测试的第二部分用于显示不同无线接入点如何处理 MU-MIMO 客户端负载的增加。为此，我们针对每个厂商的无线接入点运行了 10 个 MU-MIMO 客户端进行吞吐量测试，然后增加到 20 个 MU-MIMO 客户端，最后是 30 个。

### 测试方法

这些测试点吞吐量增益指标是在运行 MU-MIMO 与 SU-MIMO 的对比下，十个客户端可以实现的聚合 TCP 下行链路吞吐量。测试的第二个部分，如前所述，是比较 10、20 和 30 个客户端的相同下行链路 TCP 吞吐量 - 首先禁用其 MU-MIMO，然后启用 MU-MIMO。

与之前一样，通过 Ixia IxChariot 测试系统生成和测量测试流量。

#### 一对一 MU-MIMO

首先，对于各个厂商无线接入点，测试 10 个单用户 MIMO 客户端（10 个 iPhone 6，均支持单个空间流）的吞吐量。然后，使用一个 MU-MIMO 客户端取代一个 SU-MIMO 客户端，重新测试吞吐量。重复此过程直至全部 10 个客户端（10 个 Acer Aspire E15s）均为 MU-MIMO 客户端。

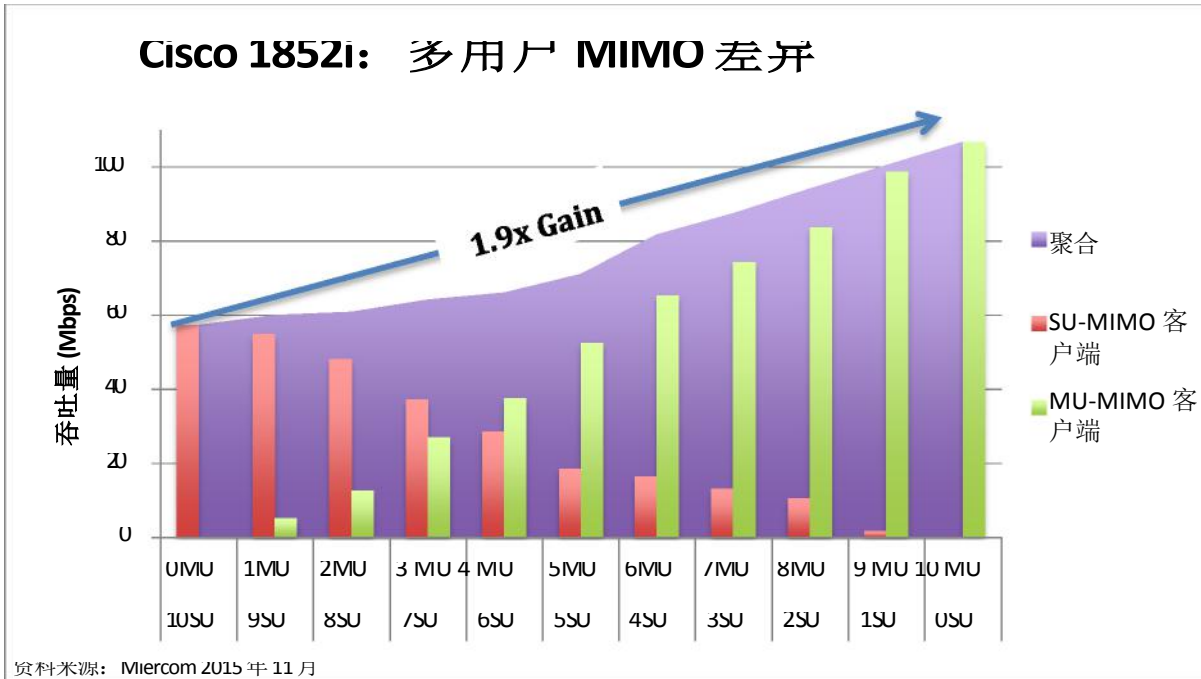
无线接入点配置为 20-MHz 信道。流量为 TCP，测量聚合下行链路吞吐量，这是最适合 MU-MIMO 与 SU-MIMO 操作对比的环境。

数量	客户端类型	Wi-Fi 类型	MU/SU MIMO
10	Acer Aspire E15 笔记本电脑	802.11ac, 一个空间流	MU-MIMO
10	iPhone 6 智能手机	802.11ac, 一个空间流	SU-MIMO

测试注释：我们无法让 Aruba AP-325 与 iPhone 6 SU-MIMO 客户端一起工作，因此在 Aruba AP 测试中，我们使用 Acer 笔记本电脑来取代，禁用其 MU-MIMO。我们的测试发现均运行在 SU-MIMO 下的 iPhone 6 和 Acer E15 这两个客户端的性能相当。

## 结果

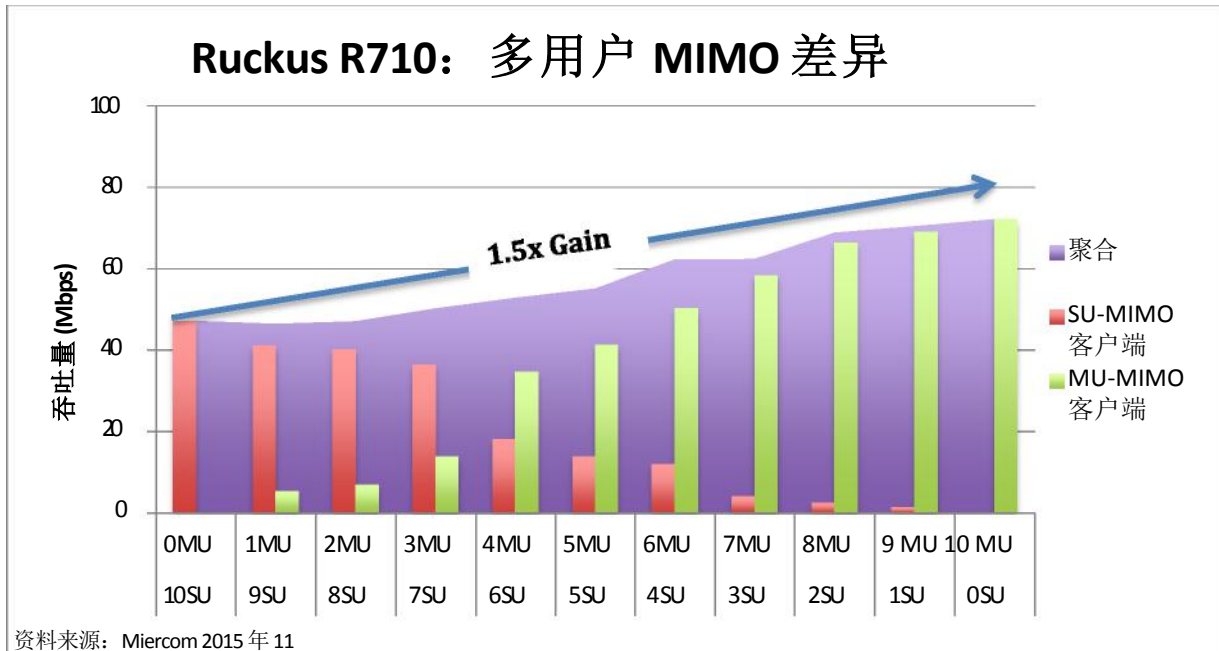
对于大多数测试的无线接入点，MU-MIMO 的值非常明了。在第一个案例（参见下图）中，对于 10 个运行在多用户 MIMO 模式下的客户端，相比单用户 MIMO，思科 Aironet 1852i 的下行链路吞吐量几乎翻番。



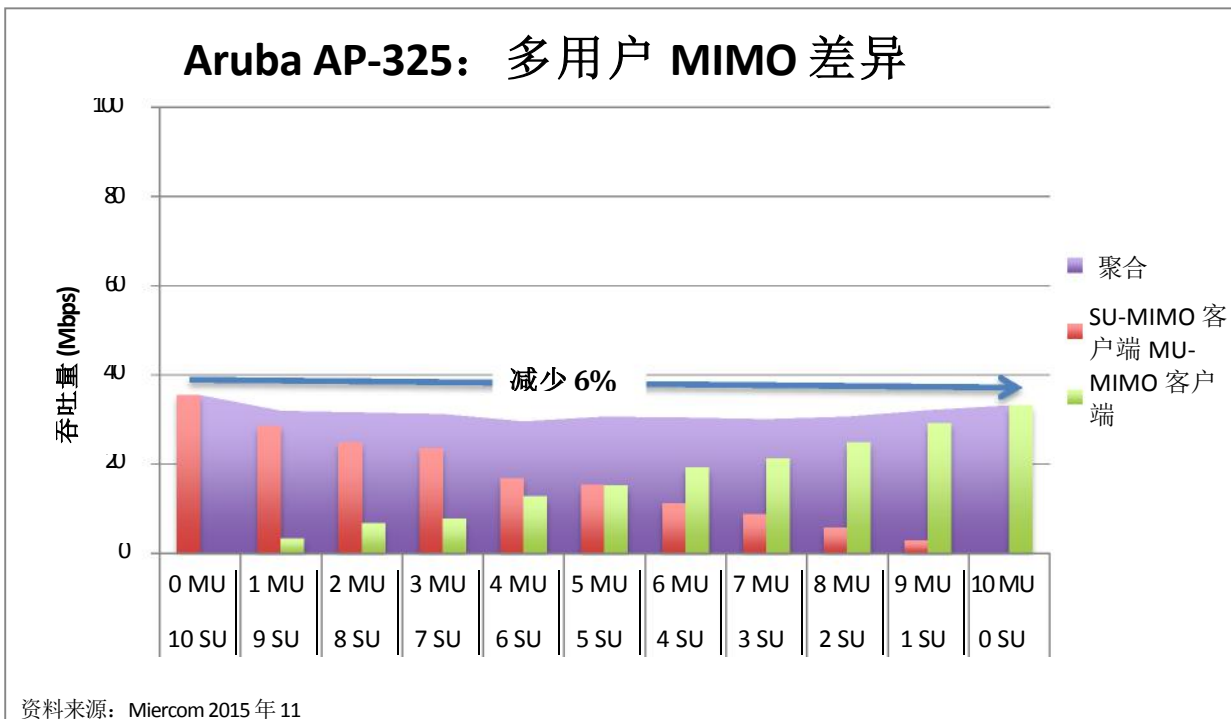


测试发现，在运行 10 个第 2 代多用户 MIMO 客户端时，与单用户 MIMO 相比，思科 1852i 无线接入点的聚合下行链路吞吐量提升了 86%。

Ruckus R710 在 MU-MIMO 下实现了类似的 53% 增益。

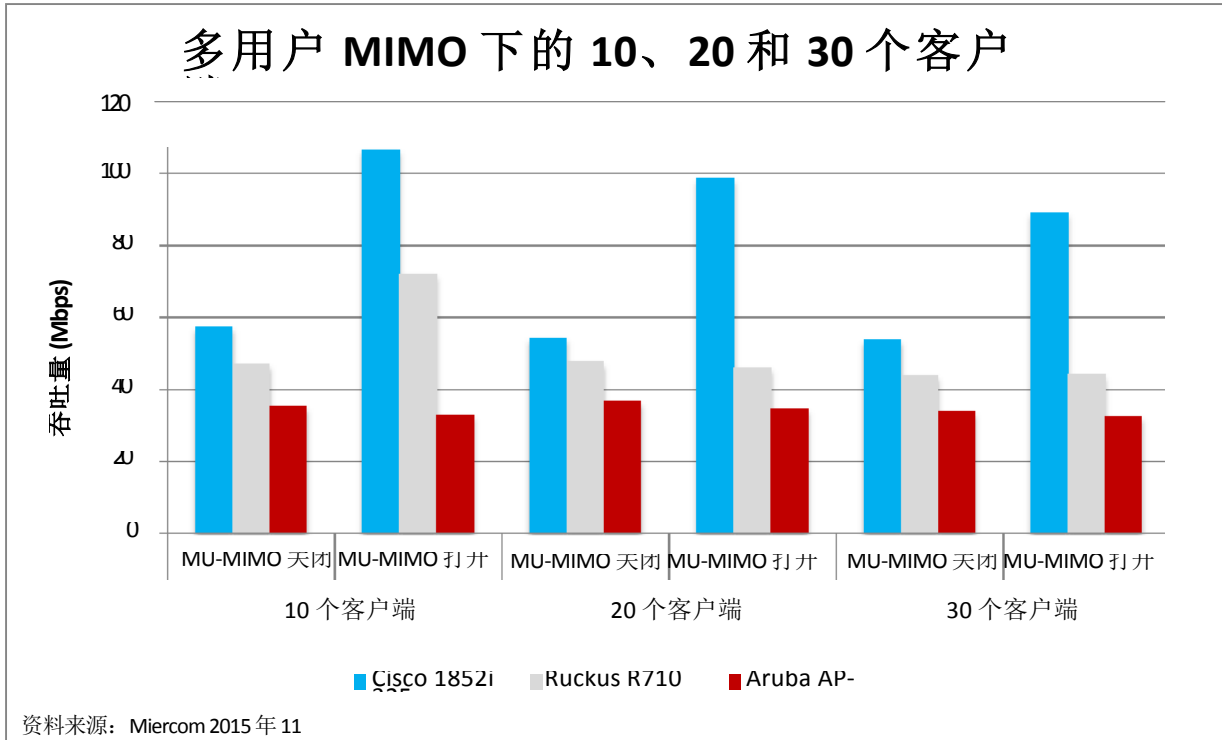


Aruba AP-325 的聚合吞吐量在 MU-MIMO 下发现略有减少 (参见下图)。



## 最多 30 个 MU-MIMO 客户端。

此测试的第一部分结束于 10 个 MU-MIMO 客户端（Acer Aspire E15 笔记本电脑）。然后使用 20 个 MU-MIMO 客户端对各厂商无线接入点重复吞吐量测试，接下来使用 30 个客户端（均为 Acer Aspire E15 笔记本电脑），客户端均运行在单个空间流下，以观察 MU-MIMO 吞吐量在两倍和三倍的客户端密度下的性能增加。



上图显示了相同客户端下无线接入点性能的差别，即聚合下行链路 TCP 吞吐量的差别：首先是 10 个、然后是 20 个、接下来是 30 个 Acer Aspire E15 笔记本电脑，均工作在单空间流下。首先在禁用笔记本电脑多用户 MIMO 支持时测试吞吐量。然后在所有客户端上启用 MU-MIMO，再次运行吞吐量测试。这些测试的相应结果分别显示在下表中。所有值均为 Mbps。

	MU-MIMO 设置	Cisco 1852i	Ruckus R710	Aruba AP-325
10 个客户端	关闭	57.3	47.1	35.4
	打开	106.7	72.1	33.1
20 个客户端	关闭	54.3	47.6	36.8
	打开	98.7	46.2	34.8
30 个客户端	关闭	53.7	44.0	33.9
	打开	89.2	44.2	32.7

思科 1852i 无线接入点提供了最佳的 MU-MIMO 性能，在 10 个笔记本电脑客户端下实现了超过 106 Mbps 的聚合下行链路 TCP 吞吐量。20 个客户端时略有下降，为 98 Mbps，然后是 30 个客户端下的 89 Mbps，因为可用带宽由更多的客户端分享。

Ruckus R710 AP 在由 10、20 和 30 个笔记本电脑客户端组成的集群中，分别提供了 72、46 和 44 Mbps 的 MU-MIMO 吞吐量。Aruba 的 MU-MIMO 吞吐量几乎与单 User-MIMO 吞吐量保持相同，在 33 到 37 Mbps 之间，不论是单用户还是多用户 MIMO，以及不论客户端的数量是 10 个、20 个还是 30 个。

如之前的测试中所示，随着客户端从单用户 MIMO 进入到多用户 MIMO 模式，思科 1852i 的吞吐量表现出最大的增幅。Ruckus R710 紧随其后。

有趣的是，随着 MU-MIMO 客户端数量的增长，所有无线接入点表现出的聚合下行链路吞吐量略有减少。Aruba 例外，在所有测试案例中表现出的聚合下行链路吞吐量几乎相同且略低。

## 7 – 无线吞吐超出 1Gbps 时的链路聚合(LAG)

### 测试目标

用于验证在特定条件下，第 2 代 802.11ac 无线接入点的实际吞吐量可能超过 1 Gbps。

### 测试方法

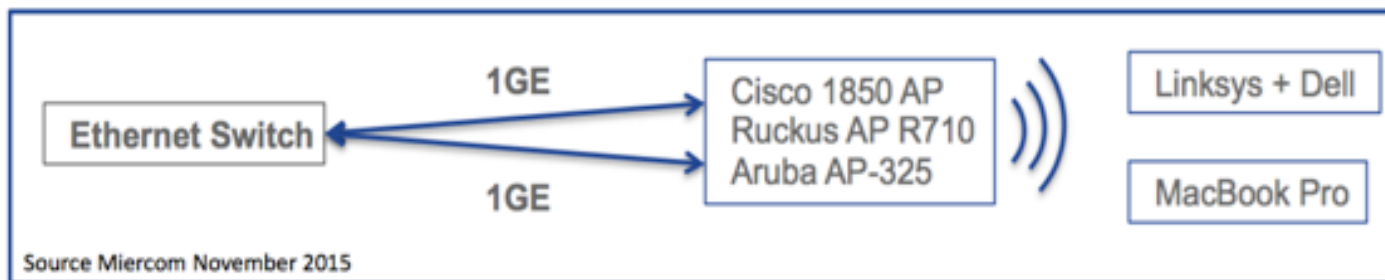
此测试仅使用两个客户端运行：

- 三个空间流 (3SS) MacBook Pro 为单用户 MIMO 笔记本电脑连接到 2.4- GHz 频带，以及
- Linksys EA8500 无线路由器有线连接 Dell E5540 笔记本电脑，用作支持四个空间流 (4SS) 的多用户 MIMO 客户端，通过 5-GHz 信道连接。

无线接入点信道宽度设置为 80 MHz 以在 5-GHz 信道上实现对 Dell/Linksys 客户端的最大吞吐量。

测试中的客户端实现了超过 1 Gbps 的无线吞吐量

数量	客户端类型	Wi-Fi 类型	MU/SU MIMO
1	Linksys EA8500, 有线连接 Dell E5540 笔记本电脑	11ac, 4 SS	MU-MIMO
1	MacBook Pro	11ac, 3 SS	SU-MIMO

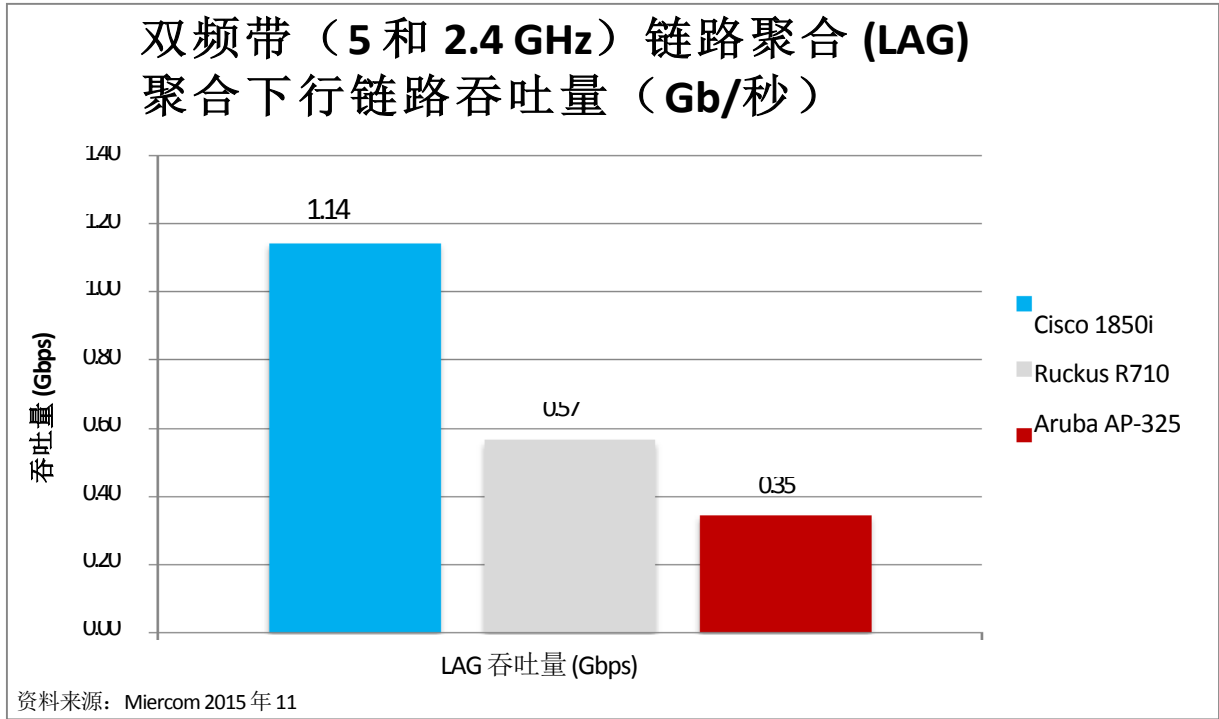


IxChariot 测试系统通过两个千兆位以太网铜缆链路向各无线接入点发送 TCP 流量，记录聚合下行链路吞吐量。

下图显示了链路聚合测试的实验室设置。需要两个千兆位以太网链路以提供从无线接入点到客户端的超过 1 Gbps 的流量，我们测试中的链接设置为提供高达 2 Gbps 的共享负载数据。

### 结果

如下图所示，使用思科 1852i 第 2 代 802.11ac 实现并超过 1 Gbps 的真实下行链路 TCP 吞吐量。



MU-MIMO 是第 2 代 802.11ac 产品中独有的新功能，尽管不会增加无线接入点的总体吞吐量，但是可以更有效地利用未使用的收发器来同时向多个客户端设备发送数据。

## 8 - 总结

测试结果表明，并非所有 IEEE 802.11ac 第 2 代兼容无线接入点性能均相同。当然，思科 1852i 无线接入点在所有测试中以及所有领域中性能均优于 Aruba AP-325 和 Ruckus R710 无线接入点。

该测试设计用于凸显 802.11ac 第 1 代与第 2 代设备之间的区别，不过同样也清楚确定了当今市场领先的第 2 代无线接入点之间的性能差别。该测试通过以下几个方面来揭示性能差异：

### 10 到 100 个客户端吞吐量。

测试表明，对于 10 个混合客户端，无线接入点提供了从 325 到 425 Mbps 的下行链路聚合 TCP 吞吐量。聚合吞吐量随着活动客户端数量的增加而逐步减少。在 100 个客户端时，可以实现从 150 到 300 Mbps 的聚合吞吐量，相比 10 个客户端时下降 30% 到 40%。

### 无带宽客户端。

测试表明，对于大部分参与测试的无线接入点，客户端数量的增长导致客户端密度增加时会争用带宽。不同厂商无线接入点之间无带宽客户端的数量和分布明显不同。

### MU-MIMO 与 SU-MIMO。

在利用多第 2 代产品的多用户 MIMO 功能方面，各厂商第 2 代无线接入点表现不尽相同。对于将客户端从单用户 MIMO 转为多用户 MIMO，思科 1852i 和 Ruckus R710 可带来最大的吞吐量增益。

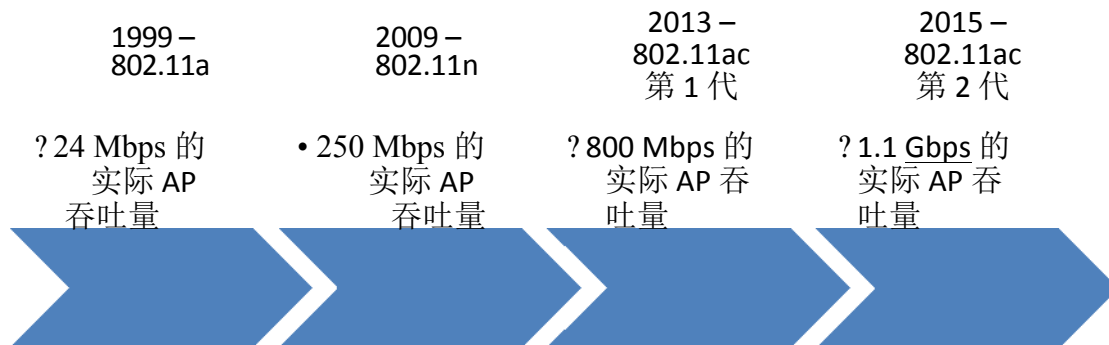
### 10、20 和 30 个 MU-MIMO 客户端。

测试发现，虽然单用户 MIMO 客户端的聚合吞吐量对于 10、20 或 30 个客户端的变化很小，对于多用户 MIMO 客户端而言，随着每个 AP 的客户端的数量从 10 增长到 30，多用户 MIMO 客户端的吞吐量显著下降。

### 802.11ac 吞吐量。

在特定的理想条件下思科 1852i 无线接入点能够提供超过每秒千兆位的实际吞吐量。这可以更有效地利用未使用的发射器同时向多个设备传输。

测试确认，第 2 代 802.11ac 产品可以实现无与伦比的 WiFi 性能。802.11 规范的演变显著改进了无线吞吐量。



## 9 - 独立评估

本报告由 Cisco Systems, Inc. 赞助。数据完全独立获取自 Miercom 的竞争产品分析。

## 10 - 关于 Miercom

Miercom 已经发布了数百份网络产品比较分析，许多分析公开发布，出现在知名期刊和其他发行物上，也有多种保密分析，仅供内部使用。Miercom 作为独立产品测试中心的知名信誉毋庸置疑。

Miercom 提供的私人测试服务包括竞争性产品分析，以及单独产品评估。Miercom 测试方法通常与客户合作开发，具备全面的证书和测试计划，包括：互操作性认证、可靠性认证、安全性认证和环保认证。还可以根据性能认证计划对产品进行评估，业内最全面最可信的产品合用性和性能评估计划。

## 11 - 报告阅读指南

我们尽一切努力确保本报告中数据的准确性。但是，错误和/或疏漏之处不可避免。本报告中记录的信息可能依靠于不同测试工具，其准确性超出我们的控制能力。此外，文档可能依赖于供应商提供的特定表述，Miercom 通过合理方法进行验证，但我们无法确保均具有 100% 的确定性。

本文档由 Miercom“按原样”提供，不以任何方式明示或暗示提供担保、观点或承诺，并且对于其中所含任何信息的准确性、完整性、可用性或适用性不承担任何直接或间接法律责任。对由于本报告中所含信息所造成或欲知相关的损失，Miercom 不承担任何责任。

未经 Miercom 或 Cisco Systems, Inc. 的事先书面许可，不可整体或部分复制文档的任意部分。文档中使用的任何商标由其相应所有者拥有。您认可，在任何活动、产品或服务中，不使用非您所有的商标或将非您所有的商标用作您自己商标的整体或任意部分。您还同意不以任何可能造成混淆、错误引导或欺骗性的方式或者以诬蔑 Miercom 或其信息、项目或发展的方式使用任何商标。