

IP Camera 组网新技术

IP Camera 自诞生以来，由于其组网灵活、便于管理、便于升级而备受市场期待。但是时至今日，模拟 Camera 系统仍然是市场主流，IP camera 似乎有点“叫好不叫座”的味道。究其原因，不少业内人士认为 IP Camera 价格高，组网、配置需要专业技术支持，限制了其只能用于高端市场。笔者认为，价格和现场应用难度这两个因素非常关键，但是又流于表象。我们需要全面、动态地考察 IP camera 从购置到安装、调测等全过程的成本，并充分考虑组网所带来额外的人员开销（尤其是现场应用工程师），以寻求扩大 IP camera 应用范围，降低其应用成本的新途径。

在本文里，笔者将向业界介绍一种也已在欧美、日本广泛应用的，利用同轴线实现 IP camera 组网新技术——基于小波的 OFDM(wavelet OFDM)。并着重分析该技术如何降低了 IP camera 整体成本（TCO，total cost of ownership），并降低了组网的技术难度。

一、旧媒体，新技术

1.1 历史回顾

目前几乎所有的 IP camera 都会带有 RJ45 接口，提供 10BASE-T/100BASE-TX 以太网接口。从某种意义上说，IP 就等于以太网，以太网就等于 5 类双绞线。但是从以太网发展历史上看来，情况并非如此。

以太网诞生早期，所采用的媒体是同轴电缆。IEEE 定义了 10BASE2 和 10BASE5 两种同轴电缆规格，分别应用于 200 米内组网应用和 500 米内组网应用。10BASE2/5 自 1975 年诞生以来，应用非常广泛，在 20 年间一直是局域网的主流技术。直到 1990 年 IEEE 通过了 10BASE-T 标准，才逐渐退出商用局域网市场。

同轴通信技术之所以在局域网领域被双绞线技术取代，主要原因是：

- 1，星形拓扑结构（以双绞线为代表）比总线型拓扑结构（以同轴线为代表）更适合商业应用环境；
- 2，100BASE-TX 等新标准率先采用了新型传输编码技术，性能得到大幅度提高，远远超过当时同轴线传输技术。

随着载波通信技术发展，业界已经在同轴线、双绞线和电力线等多种媒体上实现了更先进、更高效的传输编码（如 OFDM 编码）和纠错编码技术（如 LDPC 编码），可以达到接近香农

极限的传输能力。在采用同样技术时，由于同轴线结构可以有效屏蔽噪声影响，其性能远远超过双绞线和电力线。同时，由于同轴线结构稳定，不易受外界电磁环境影响，所以其性能也比其他通信媒体稳定、可靠。

在以 IP camera 组网为代表的一些应用中，业界逐渐发现同轴线的总线型组网结构有其独特优势，非常适合物理上分散、需要动态加入/去除新设备、各个设备网络吞吐量变化很大的组网环境。同轴电缆的直流阻抗远小于五类线。PoC (power over cable) 供电模式可以同时为接入同轴电缆的多个设备同时提供电力，大大简化了供电设计和施工成本；供电能力远远超过 PoE (power over Ethernet/；供电也更安全。

近年来，随着 IEEE 将 Wavelet OFDM 纳入其 P1901 规范，基于同轴线的高速传输技术在 IP camera 组网、高速车辆视频服务、工业现场控制、大型仓储管理等领域得到了快速的应用，获得了比 5 类双绞线和光纤为媒体的组网方式更好的用户体验，也大大降低了整体成本。

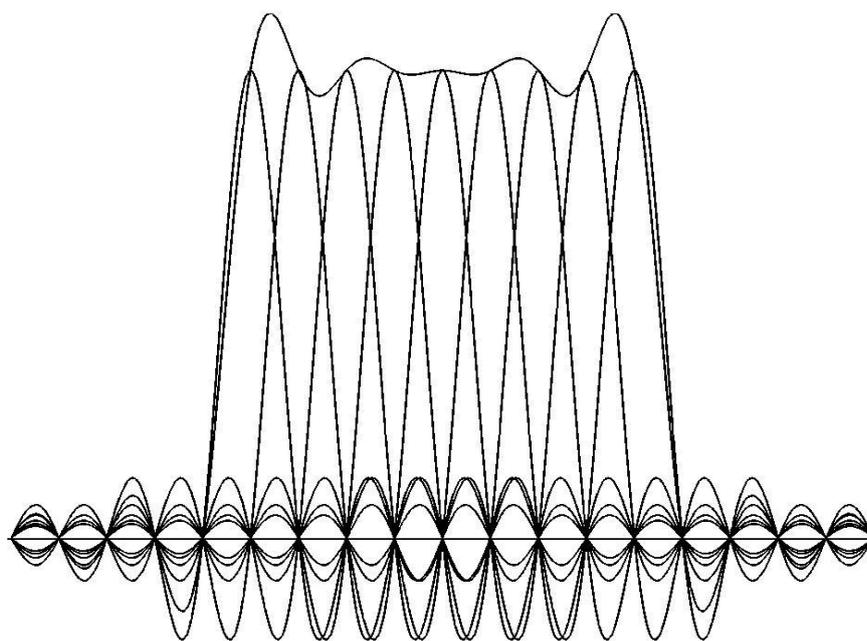
1.2 基于小波的 OFDM 技术——IEEE P1901

1.2.1 OFDM 基本概念

OFDM 意即“正交频分复用”，是多载波调制技术的一种。OFDM 技术和普通 FDM (频分复用) 一样，是将信息调制在多个载波上，在频率上分开，然后同时在同一个信道里传输。但是 OFDM 和 FDM 技术最大的区别在于 OFDM 各个载波在频域上是可以部分重叠的。各个载波是通过傅立叶变换的正交性，保证了其在同一个信道里彼此独立，相互没有干扰。

OFDM 系统频谱利用率、抗干扰能力等性能是业界已知的载波调制技术里最优秀的，理论上可以无限制接近香农极限。目前，正交频分复用(OFDM)技术被认为是第四代移动通信技术的关键技术之一，已经被认可为一种高效的无线电通信技术。同样原因，OFDM 技术也广泛应用于电力载波通信、xDSL 等有线通信系统中。

OFDM 的频谱示意如下：



从数学分析角度看，OFDM 信号的解析表达式为：

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_{i+\frac{N}{2}} \exp \left[j2\pi \left(f_c - \frac{i+0.5}{T} \right) t \right] \right\}$$

在接收端，可以用如下公式实现各个载波信号的解调：

$$\int_{\tau}^{\tau+T} \exp \left(-j2\pi \frac{k}{T} t \right) \left[\sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} d_{i+\frac{N}{2}} \exp \left(j2\pi \frac{i}{T} t \right) \right] dt = d_{k+\frac{N}{2}} T$$

基于傅立叶变换（FFT）技术的 OFDM 技术最大缺陷是 PAPR 过高，PAPR 是峰值-平均功率比值。我们知道，一个通信信道里，能容忍的最大信号幅度（能量或者电压幅度）是有限的。当 PAR 过高时，要么降低平均输出功率，以保证信号不失真（削顶）；要么对信号进行预失真处理，保证峰值功率不超过信道容忍值。这两种模式对整个系统的信噪比（SNR）都是有较大影响的，严重时会导致系统性能剧烈下降。

此外，FFT 技术的 OFDM 对通信节点之间的频差非常敏感。理论分析表明，1%的频差即可使 SNR 下降 30dB 以上。

为了避开 FFT OFDM 的弊端，业界寻求了多种解决方案。小波包多载波调制(Wavelet Packet Division Multiplexing, WPDM)是数学中的小波/小波包分析理论与通信中的多载波调制技术相结合所产生的一种新的多载波调制技术，具有频谱效率高和良好的抗符号间串扰、信道间

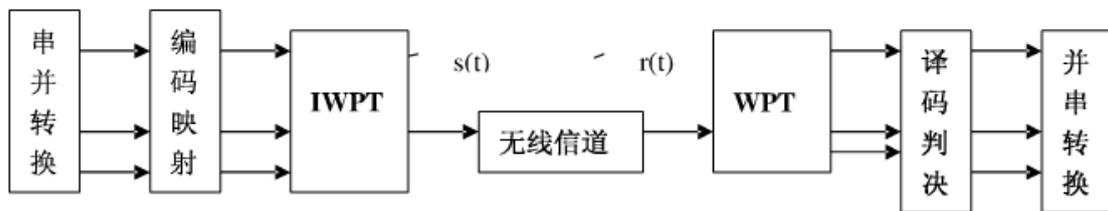
干扰、脉冲干扰和单频干扰的优良特性，并且易于多速率传输等优良特性。将 WPDM 和 OFDM 结合，即为 wavelet OFDM。此技术被认为是下一代有线和无线传输技术的关键，广受关注；并被 IEEE P1901 标准组采纳，成为室内和远程电力通信的技术标准。

1.2.2 Wavelet OFDM

小波分析是 20 世纪 80 年代后期发展起来的新的数学分支。小波变换是一种信号的时频分析方法，具有多分辨率分析的特点。小波变换能够完成对单一波段或多个波段的融合运算，也能正好符合人类的视觉特性。小波变换(Wavelet Transform)属于时频分析的一种,其核心是多分辨率分解。

根据小波理论，小波变换同时在时域和频域正交，频域上旁瓣压缩比最高可以达到 45 dB，而 OFDM 系统的旁瓣压缩比最高只有 13 dB。FFT OFDM 技术对频偏非常敏感，易产生严重的子信道间干扰；而且加入循环前缀，又大大降低了频谱利用率。而小波变化恰好可以避免这两方面的问题，这就是业界在 OFDM 系统中采用小波变换代替傅立叶变化，发展 Wavelet OFDM 的根本原因。

下图是 Wavelet OFDM 调制解调过程：



上图中的 WPT/IWPT 即为小波包变化（wavelet packet transform）。

这里不详细解释小波变化的原理、理论分析和仿真结果，有兴趣的读者请和笔者联系。下面仅从应用角度解释 Wavelet OFDM 的一些技术优势，并指出这些技术优势在实际应用中带来的好处：

- 1， 抗干扰能力强。由于采用小波变化，所以信号在频域和时域上同时保持正交，所以基于 Wavelet 的技术抗干扰能力远远超过其他的相干技术；
- 2， 功耗低。小波变化的计算量相当于同样功能的 FFT 计算量的 1/8，存储容量也差不多为 FFT 的 1/8，所以功耗远远低于其他类型的载波调制技术；
- 3， 兼容性好。不仅可以兼容 IEEE 的 P1901，也可以和 ITU-T 的 G.hn 保持共存；
- 4， 动态范围广。Wavelet OFDM 的对灵敏度要求不高，配合业界领先的模拟前端（AFE），整个系统的动态范围可以达到 90dB 以上。

1.2 CABLE vs 5 类双绞线

5 类双绞线在商业应用环境（比如办公室）里，具有其他技术都无法比拟的优势。这主要得益于 5 类双绞线引入了集中器（后来发展为交换机）的概念，将传统的总线型局域网改造为星形拓扑结构，简化了布线，提高了性能。这些对于当时还在采用略显笨拙的曼切斯特编码技术，需要将细缆或粗缆在地板上拖来拖去的 10BASE2/5 来讲，都是无法企及的。所以在很短的时间里，10BASE-T 等采用双绞线技术的以太网组网模型迅速成为主流。

但是，IP camera 的应用环境和普通商业环境差别很大。星形拓扑结构不仅不是优势，反而成为现场施工最大成本来源之一；点到点的通信模式在商业环境里简化了网络连接，但是在 IP camera 组网时却导致网络接口无限制扩张，机房里需要采用多端口高端交换机。这些都增加了组网的成本。实际上，当我们考察“IP camera 成本较高”这一论断时，我们常常发现相当多的成本是来自于现场铺设线缆、采购复杂的网络设备上！

PoE 在一条网线上只能支持一个 PD（powered device），网络供电复杂，成本高企。这也进一步降低了 IP camera 的价格竞争力。

由于五类线的衰减较大，所以其支持的最大传输距离一般不超过 100 米。实际测试时发现，100BASE-TX 的物理层芯片能够达到的最远距离和五类线质量关系很大。在阻抗控制不够理想、线缆较细的五类线上，一般 30 米就会出现误码和丢包。对于短距离应用，这个问题并不突出——TCP 和 UDP 等网络层协议甚至一些应用层协议会通过“出错重传”机制避免丢包带来不可控制的影响。但是有不少施工单位反映在超过 50 米的长距离应用中发现信号质量受到了严重影响，主要表现为丢帧、马赛克和图像质量下降。

五类线较易受外界电磁干扰影响，也可以发射电磁波干扰其他设备（尤其是包括航空通信在内的短波无线电设备）。同轴电缆屏蔽性远远优于双绞线，所以不存在此类问题。

五类线和同轴电缆通信系统的比较小结如下：

	同轴电缆	五类线
通信性能	物理层编码可以达到 2Gbps	物理层编码速度可以达到 125Mbps
	同一根电缆上所有节点共享带宽	通过交换机可以实现各节点独占带宽
	传输延迟固定有保障——低于 3ms	受网络环境和包长度影响，延迟变动范围很大
组网灵活性	在同一根电缆上支持多个节点	同一根网线上为点-点应用； 如需支持多节点，需要多条网线+多口交换机
	即插即用，无需复杂网络配置	服务器（NVR）、交换机、IP camera 的配置要保持一致
	端口收敛，普通 16 端口交换机可以支持 200 个以上 IP camera	交换机端口数随 IP camera 线性增加
电磁干扰	优秀	室外应用有一定 EMI 问题
安全	内置 AES128 加密	无加密传输

供电	40W@500M, 成本低	20W@100M, 成本高
----	---------------	---------------

1.3 CABLE vs 光纤

由于五类线最大只能支持 100 米的传输距离，并存在电磁干扰等问题，不少现场工程应用采用光纤作为拉远解决方案。其示意图如下：

本质上，本技术不是一种组网技术，而是一种点到点传输距离延伸技术。所以它不能解决前面提到的网络配置的问题，反而把问题复杂化了。按照传输模式来分，目前光端机分为两类：
 1) 前端为模拟信号，转换为数字信号后，多路复用，送入光纤传输；
 2) 前端为以太网，光端机本质上为一个“媒体转换器”。对于前者，所用仍然为模拟摄像机，无法利用网络摄像机带来的优势；对于后者，每一个 IP camera 都需要一对独立的媒体转换器的支持，成本很高，组网十分不便。

光纤传输技术最大的问题是在施工与维护方面。正规的光纤施工工程包括如下步骤：

- 1, 设计
- 2, 报批
- 3, 挖涵洞
- 4, 铺缆
- 5, 节点焊接（光纤熔接）、套管保护
- 6, 标识

目前在 IP camera 应用时，为了降低施工成本，施工单位直接将光纤或者光缆在墙壁或者浅沟里铺设，也不可能做到标识清晰。这样做的后果是光纤寿命大大缩短；其他工程施工容易扯断已经铺设的光纤，工程可靠性低下，维护成本高且无法预算。

由于光纤传输是点到点拓扑结构，所以在需要加入新的节点时，必须铺设新的光纤，或者替换原有的光纤复用设备，然后对所有已有的设备重新调测，代价很高。

光纤是石英玻璃制成，无法传导电力。所以在采用光纤传输技术时，必须为所有的室外设备提供额外供电。这一方面加大了施工难度，另一方面也带来用电安全和用电收费上的难题。

光纤传输技术和同轴电缆通信系统的比较小结如下：

	同轴电缆	光纤
通信性能	物理层编码可以达到 2Gbps	有模拟、数字之分。 模拟光端机必须和摄像头匹配，其最大编码速度必须要超过摄像头最大像素要求； 数字光端机一般为 100BASE-FX，最大编码速度为 125Mbps
	同一根电缆上所有节点共享带宽	点-点应用，节点之间通过交换机或者 NVR 连接

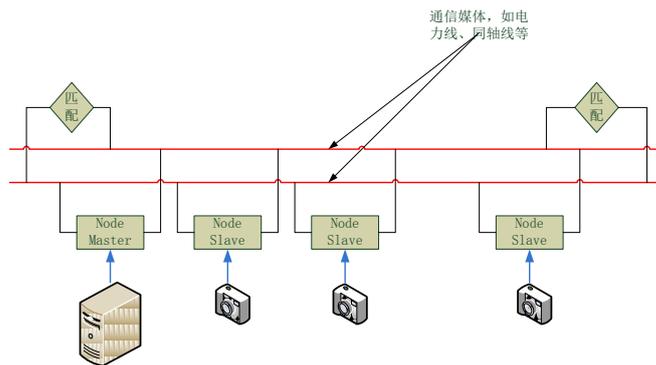
	传输延迟固定有保障——低于 3ms	受网络环境和包长度影响，延迟变动范围很大
组网灵活性	在同一根电缆上支持多个节点	同一根光纤上支持有限的复用，不能组网
	即插即用，无需复杂网络配置	对于数字光端机，服务器（NVR）、交换机、IP camera 的配置要保持一致； 对于模拟光端机，需要和模拟摄像头的配置保持一致
	端口收敛，普通 16 端口交换机可以支持 200 个以上 IP camera	有限的端口收敛，一般为 1: 4
供电	40W@500M	不支持远程供电，供电模型复杂

三、组网与应用

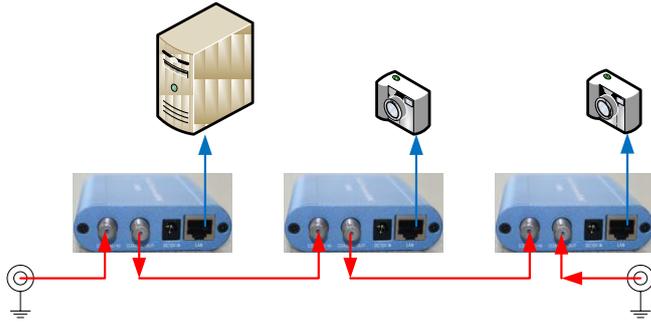
下面详细介绍基于同轴电缆 IP camera 组网模型，并在此模型基础上分析此技术如何降低 IP camera 工程安装、部署和维护成本。

3.1 基本组网模型

如上述所言，Wavelet OFDM 技术可以应用于电力线、同轴线和电话线等多种有线媒体。下面是一般性的组网模型：



针对同轴电缆，可以将组网模型简化为如下方式：



3.2 原有模拟系统升级

总所周知，在世界各地，模拟摄像头已经广泛应用于各类场合。如何支持客户从模拟系统无缝升级为 IP camera，是业界考虑的一个热点问题。

Wavelet OFDM 传输技术提供如下两种升级途径：

在第一种升级模式里，原有的模拟摄像头被替换为 IP 摄像头，但是原有的同轴电缆无需替换为以太网线。IP 摄像头的以太网口和适配器连接，适配器通过同轴连接器接入同轴线，即可实现 IP 摄像头的联网。适配器从同轴线上获得供电，转换为 12VDC，为 IP 摄像头提供电源。此种升级方式的优势是无需替换同轴电缆，即可直接上马 IP 摄像头；

在第二种方式里，原有的模拟摄像头通过数字视频服务器（DVS）转化为以太网信号，再按照第一种方式实现联网。目前已经有厂家在实现将视频服务器（DVS）和同轴适配器合二为一的方案，更加简洁灵活。此种方式的优势在于原有的模拟系统不需要变动，也不影响新加入的数字系统，可以实现模拟和数字的共存。

3.3 从零开始——更灵活高效的方式

当前业界 IP 摄像头的标准接口是以太网，以太网在组网时的一些制约限制了 IP 摄像头应用的灵活性，也增加了 IP 摄像头额外成本。如果从一开始即考虑工程应用单位在施工、布线上的成本问题，采用更经济可靠的布线方式，则有可能为用户提供更加经济，灵活高效，更加可靠的网络连接。

3.3.1 成本分析

以太网是典型的点-点连接模式，一根网线只能支持一个 IP 摄像头。如果需要多个 IP 摄像头，则需要安装多根网线，并通过以太网交换机实现连接。

为了简化供电，当前以太网设备都采用了 PoE 供电模式，所以也要求以太网交换机支持 PoE。

对于 Wavelet OFDM 技术，网络模型要简单很多。相应的，也大大降低了组网成本，尤其是 TCO（total cost of ownership）。

首先，Wavelet OFDM 支持一个电缆上部署多个 IP 摄像头，所以一根电缆相当于多根以太网线。虽然以太网线成本并不高，但是所降低的涵洞、打墙、铺管和人工费用却非常可观。实际上，这部分费用也正是 IP 摄像头工程费用的重要来源！

其次，由于 Wavelet OFDM 产品已经支持了简单高效的 PoC（power over cable），所以无需价格高昂的 PoE（power over Ethernet），可以用普通以太网交换机代替价格高企的带 PoE 功能的交换机。

由于 Wavelet OFDM 技术将多个 IP 摄像头连接收敛为一个以太网口（可以支持 20: 1 的收敛比），大大降低了以太网交换机的复杂度。比如，一个 100 个 IP 摄像头的工程，如果采用 128 口带 PoE 功能的机架式交换机，其成本就占了整个设备成本 30% 左右。而采用 Wavelet OFDM 技术，一个普通 24 口以太网交换机即可实现组网。

下面是基于以太网和基于 Wavelet OFDM 技术 IP 摄像头成本对比：

	Wavelet OFDM	以太网
布线	简单，一个同轴线可以支持 20 个以上 IP 摄像头，工程量相当于以太网的 1/20	每个摄像头必须一条独立网线
供电	价格低廉的 Power over cable	交换机和 IP 摄像头都必须支持 PoE，成本高
网络设备	交换机网口和 IP 摄像头比例为 1: 20	交换机网口和 IP 摄像头比例为 1: 1

3.3.2 灵活性

Wavelet OFDM 应用于 IP 摄像头组网，具有其他技术难以企及的灵活性。

首先，Wavelet OFDM 技术支持按需扩容。以太网布线往往要求在工程一开始就详细规划好摄像头要安装的位置，并为以后可能需要的扩容预留布线。换言之，以太网技术要求工程一

开始就把所有布线完成，否则以后重新开槽、打墙、走线成本将非常高昂。而 Wavelet OFDM 可以在一根同轴线上支持多个 IP 摄像头，所以可以支持按需安装，逐级布线。如下图所示：

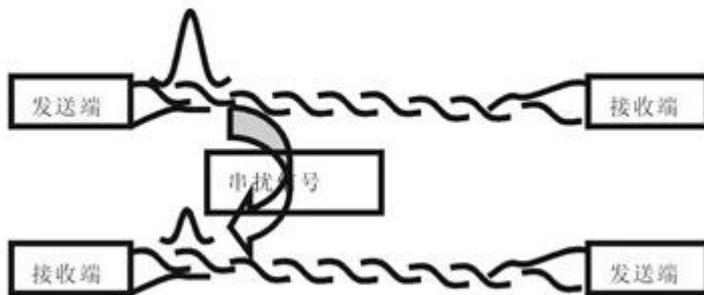
其次，Wavelet 支持超长距离布线——机房和摄像头之间距离可以达 2000 米。对于以太网 IP 摄像头而言，如果需要在支持超过 100 米的传输距离，需要在中间加入以太网交换机作为中继设备。但是这样让整个网络的规划设计、安装调测变得复杂起来。更严重的是，如果中继交换机不得不安装于室外，其供电、防雷、防水、防霉变都变得非常棘手。而 Wavelet OFDM 则可以完全避免这个问题，规划、扩容和实施都可以按需进行。

此外，基于总线的拓扑结构更符合人们使用 IP 摄像头的习惯。工程上更倾向于基于“同一栋楼、同一个单元、同一间工厂”来规划、安装 IP 摄像头。基于以太网的布线对这些摄像头所在位置是不加区分的，交换机等同看待这些联入的设备。Wavelet OFDM 很自然地按“同属于一根同轴电缆”将设备物理位置确定清楚。后续的调测、维护都会变得更清晰。

3.3.3 可靠性

10BASE-T/100BASE-TX 等五类双绞线最初的预期应用环境为普通商业环境，电磁环境并不恶劣，也没有充分考虑防雷等要求。

电磁兼容性（EMC）要求一个机电系统，既不能过分干扰周围的其他系统正常工作，也不能对电磁环境过于敏感，易于受其他机电设备的影响。五类线是以太网 IP 摄像头电磁敏感性的根源：



如上图所示，任何双绞线，信号耦合度都不可能做到 100%。本系统的电磁信号很容易通过电磁泄漏，成为电磁干扰源；而外部的电磁信号也容易通过绞合不严密的双绞线（此时相当于一个天线）进入本系统，干扰本系统的正常工作。

而常规的 SVY75-5 的屏蔽结构，其电磁泄漏远远低于双绞线。实际测试表明，其电磁泄漏仅为双绞线的 1/40 左右。

由于双绞线结构无法和大地（安全地）直接相连——即为浮地，所以其在室外应用时，防雷

和防静电一直是一个难题。对于防护等级不高的 CDE 和 2KV/4KV 的 IEC61000-4-2（我国对应标准为 GB/T 17626.2-1998），加入 TVS 即可解决问题。但是对于更高等级的 ESD 或者防雷保护，浮地设备基本上是没有很好的办法的。

基于同轴的机电设备则可以通过将外边的屏蔽层和大地短接，实现良好的防雷布线，电磁兼容性也会更好。即便是浮地工作，带有屏蔽层的同轴线的防雷/防静电效果也远优于双绞线。

3.4 特殊场合的应用

从上述分析可以看出，基于同轴电缆 IP camera 的主要优势在于：

- 1， 传输距离长；
- 2， 高性能；
- 3， 多节点、自组网；
- 4， 远程大功率供电；
- 5， 安全性好，AES128 加密模式；

在不少特殊应用环境里，有不少可以利用上述优势的例子：

- 1， 动车、高铁或者地铁车厢视频设备连接。目前在日本高铁和美国地铁上都有实际工程用本技术实现 IP camera 和视频广告设备的互连；
- 2， 山林远程监视。由于本技术可以实现超过 2000 米的视频传输，且可以支持设备远程供电，所以在安装和维护上都优于基于无线和以太网的方式。在美国加州部分山地已经安装了摄像头和火灾传感器，并用本技术实现拉远传输；
- 3， 隧道。可以在一根电缆上同时支持超过 20 个 IP camera 连接；
- 4， 停车场。停车场的特点是距离跨度大，监控点多。Wavelet OFDM 技术恰好可以很好地应用在这种场合，大大降低布线难度；
- 5， 工厂。在不少大型工厂，原本已经安装了大量同轴电缆，用于厂房内部工业控制和监视。本技术可以避免工厂在升级到数字控制模式时，需要停工重新布线的问题；同轴传输线固有的低电磁辐射和良好的抗干扰能力，也为其可靠工作于复杂的工厂环境提供了保障；AES128 加密模式保证了工厂机密数据不会被有意或者无意被泄漏；
- 6， 需要大功率 PoE 的场合。比如一些高速球机，其整体功耗超过 30W，甚至达到 40W，普通 PoE 根本无法驱动。如采用私有 PoE 技术（比如多缆/多口并联），则需要昂贵的定制交换机支持，十分不便。Wavelet OFDM 可以在 500M 普通电缆上支持 40W 的输出功率，满足要求。

四、已有产品

4.1 欧洲

在欧洲，模拟 Camera 应用非常普遍，75 欧姆同轴电缆资源丰富。在从模拟 camera 到 IP camera 切换过程中，欧洲厂家较早开始研究了利用原有 75 欧姆同轴电缆传输数字信号的可能性。欧洲相关厂家在 IEEE P1901 标准制定过程中，将包括工业现场控制、工业以太网（实时以太网）及 IP camera 视频应用的相关要求都加入到技术规格里。

从 2008 年开始，欧洲一些电信运营商开始采用 P1901 技术，利用已有的布线资源，级为 IP camera，并实现统一联网。

欧洲市场此类设备主要供应商为日本松下公司、美国西屋电气和 Urment 等本地设备供应商。

4.2 日本

日本是业界最早开始 Wavelet OFDM 技术研究和产品设计的国家。早在 2002 年，日本产业省就组织行业协会，制定了 wavelet OFDM 应用于宽带室内 PLC 的相关技术标准和 EMI 规范。在 2006 年日本产业省更是通过了世界上最严格的宽带载波通信的动态功率谱密度 (dynamic PSD) 技术要求。由于此规范严密可靠，欧洲运营商也在积极考虑在欧洲市场上通信上引入，以严格规范宽带载波通信设备的电磁兼容性。

日本松下公司在 2008 年推出了世界上第一款严格符合 IEEE P1901 的、基于同轴电缆的通信适配器，其应用目标正是当时在日本市场上蓬勃兴起的 IP camera。随着市场对这一产品的迅速接受，日本很快有多家 OEM/ODM 厂商推出了类似产品，包括 Sun Electronics, IOData 等等。

目前日本每年部署接近 6 万台基于同轴的 IP camera，主要应用于机场、地铁、高铁和商店。未来据 TTC（通讯技术委员会）预测，将在 2015 年达到 30 万台/年。

4.3 美国

在美国，家庭内部和室外的同轴电缆资源都很丰富。所以采用同轴电缆技术的 IP camera 也就有了不同的应用市场：家用市场和专业市场。

2009 年美国首先在纽约地铁站和列车上安装基于同轴线的 IP camera，获得了地铁公司的一致认可。目前基于同轴的 IP camera 已经广泛应用于机场、地铁、桥梁和隧道等领域，年用量超过 10 万台，并有超过 50% 的年复合增长率。

美国家庭基本上每个房间都有同轴电视接口。有限电视运营商、电信运营商和一些业务提供商从 2010 年开始都不约而同打起了同轴电缆 IP camera 的主意，向家庭居民销售安防服务。目前 DirectTV 和 Verizon 年部署量都已经分别超过 13 万台和 20 万台，据市场占有率前两位。

在家用市场上，主要设备供应商为智邦等我国台湾的 OEM 厂商。

4.4 南美

南美经济较发达的巴西和阿根廷都接纳 IEEE P1901 为自己的国家标准，并将基于同轴线的 P1901 技术应用于市政安防项目中。

在南美基于同轴的 IP camera 年部署量超过 6 万台，主要供应商为日本松下和美国 GE，主要应用为机场和市政安防监控。

五、实测结果

六、总结

Wavelet OFDM 技术是 IEEE P1901 采纳的一种多载波调制解调技术，可以在同轴电缆、电力线和普通双绞线上提供接近香农极限的通信能力。

Wavelet OFDM 用于同轴线，可以为模拟摄像头升级为数字摄像头提供一个方便、廉价的解决方案；在实际工程应用中，Wavelet OFDM+同轴电缆也可以代替以太网线，提供更加廉价、更易管理、更安全可靠组网方式；在一些特殊应用领域，Wavelet OFDM 产品提供了其他技术难以替代的特性，极具实用价值。

目前 Wavelet OFDM 已经在欧美和日本等发达地区得到广泛的应用，用户体验普遍优于无线和以太网组网模式。笔者相信此技术在快速发展的亚洲市场更具发展潜力！