

天地一体化生态电磁环境的构建

Construction of Ecological Electromagnetic Environment in Integrated Space and Terrestrial

姚富强/YAO Fuqiang

(军委装备发展部第六十三研究所, 江苏南京 210007)

(The 63rd Research Institute of the Equipment Development Department of the Central Military Commission, Nanjing 210007, China)

类比自然环境,电磁环境是指影响各类无线电业务系统运行效果的各种自然要素和人为要素及其相互作用关系的总和。自然环境具有地域及环境资源的不可分割性,电磁环境同样具有地域和频谱资源的不可分割性,尤其是远程传输系统所处的电磁环境更是如此。所有无线电业务系统都工作于电磁环境中,电磁环境的好坏成为一个国家电磁制衡能力的重要组成部分。

不幸的是,与自然环境产生雾霾现象类似,当今电磁环境也持续恶化,出现了“电磁雾霾”现象^[1-2]。例如:几十年前,几瓦、十几瓦的短波电台可通几百、几千千米,而在通信技术、频率预报技术和器件技术等高度发达的今天,由于相同频段、不同系统间非合作频率竞争伴随功率竞争形成无意干扰,造成短波电磁环境人为背景噪声逐年上升^[1-2],短波业务系统与电磁环境之间形成恶性循环,使得几百瓦甚至数千瓦的短波电台反而通不好,教训极为深刻。其他频段和场合可能也有类似问题,但远程传

收稿时间: 2016-05-15
网络出版时间: 2016-07-08

中图分类号: TN929.5 文献标志码: A 文章编号: 1009-6868 (2016) 04-0029-005

摘要: 提出了生态电磁环境新概念,即和谐、高效、绿色、安全电磁环境的总和,同时提出了构建天地一体生态电磁环境的基本机理、模型与方法以及需突破的关键技术。认为构建和谐、高效、绿色和安全的天地一体化生态电磁环境研究是一项关系到中国未来信息网络健康发展的重大课题,对于国家利益拓展、国防建设等具有战略意义。需要拓展研究思路,树立生态电磁环境科学发展的理念。

关键词: 天地一体化信息网络;电磁环境;抗干扰;电磁频谱安全;电磁频谱管理

Abstract: In this paper, the new ecological electromagnetic environment, including harmonious, efficient, green and safe electromagnetic environment is proposed. Then the basic mechanism, model and method, and key technologies needed to break through of ecological electromagnetic environment of integrated space and terrestrial have also been proposed. Building ecological electromagnetic environment of integrated space and terrestrial is an important issue in China, for it has strategic significance in the development of national interests, national defense construction and so on. We need to expand our research ideas, and establish the concept of the scientific development of ecological electromagnetic environment.

Keywords: information network of integrated space and terrestrial; electromagnetic environment; anti-jamming; electromagnetic spectrum security; electromagnetic spectrum management

输系统的影响范围更大,问题更突出,比如:有些卫星通信系统与地面宽带移动通信系统^[3]处于相同或相邻频段,其用频必然造成冲突和人为背景噪声上升,如果不提前规划和采取有效措施,地面和近空的电磁环境污染会向空间扩展,犹如自然环境中的“人到哪污染到哪”,将严重影响天地一体化信息网络的正常运行和效能发挥。同时,随着“网络电子战”态势的形成,“网络电磁行动”^[4-5]由军队行动向国家行为扩展,中国电磁环境还存在严峻的人为恶意破坏等的安全威胁。

全球已建设电磁环境无线电噪

声监测网络,也颁布了相应的测试标准,但对于电磁环境恶化的原因和如何改善电磁环境等问题一直未见研究报道。

1 电磁环境恶化的原因

在拥有所需频谱资源前提下,影响无线电业务系统性能的主要要素有无线电技术和电磁环境。电磁环境主要由自然因素和人为要素构成。自然要素是难以改变或抗拒的,但人为要素是人类自己产生的,也是可以改变和控制的。人为要素主要与频谱管理模式和人类用频的方法有关。

(1) 现行频谱管理模式与电磁环境的关系

频谱管理经历了“先占先得”的登记式管理到国际《无线电规则》框架下协调式管理的发展历程^[6]。传统或现有频谱管理模式主要内容有:在充分协商的前提下,通过平衡各方利益,制定和修订《无线电规则》,工作重点是按业务进行固定频率划分,以此维护无线电频率使用秩序。所谓固定频谱划分^[6],就是将大部分频段作为授权频段,让授权用户在给定区域内对该频段具有长期的绝对排他使用权;同时,保留一些非授权频段允许非授权竞争使用。

固定频谱划分存在的主要问题是:难以适应各种军民无线电设备对频谱爆炸式增长的需求。例如,对某种业务进行固定频谱划分后,由于频谱资源有限,在某些区域甚至全球又难免与其他业务系统的频谱存在重叠。又由于不同系统的用户数量在不断增加且缺乏系统间的频谱协调机制,势必造成工作频率非合作竞争冲突。所以,固定频谱划分限制了频谱机动自由,使得有些远程业务系统实际上被迫采用非合作竞争用频方式,可能成为电磁环境主要互扰噪声来源。

同时,国际《无线电规则》中对无线电设备带外域和杂散域无用发射的规定^[8-9],也直接影响到电磁环境。例如,《无线电规则》对于无线电设备的无用发射主要规定了相对或固定衰减限值,没有针对远程中、大功率无线电传输特性,做出无用发射功率限值的专门规定,使得无用发射随着用频发射的增大而增大,可能成为电磁环境重要互扰来源,从而干扰其他短波用户的工作频率。

(2) 当前主要用频方式与电磁环境的关系

在国际《无线电规则》框架下,当前无线电业务系统主要用频方法有:频率自适应、认知无线电、分集和增大发射功率等。存在的主要问题有:

频率自适应技术只考虑系统自身选频,不顾及其他同频段用户;认知无线电技术仍存在不同系统间的同频竞争和二次频率竞争^[7];分集技术在同时采用多个天线分集发射时,会增加额外频谱污染;增大发射功率的使用方法除了在竞争频率上直接形成干扰外,发射机带外域、杂散域无用发射随之增大^[8-9],在提高自身主频信噪比的同时,背景噪声升高,使更多用户遭受影响,即业务系统与电磁环境之间形成恶性循环。

分析表明:现行频谱管理模式和人类用频方法均对电磁环境产生不同程度的负面影响,主要表现在非合作频率竞争伴随功率竞争和无用发射均增加人为噪声干扰。以上主要分析结论已在短波电磁环境实际测试中得到验证^{[11-24][8-9]}。

2 电磁环境面临的挑战

根据以上分析和验证,在新的历史时期,尤其在构建天地一体化和地面远程信息网络背景下,中国电磁环境面临如下严重挑战:

(1) 电磁环境不和谐。在固定频率划分框架下,频谱需求与频谱资源矛盾愈加突出,造成越来越多的同频段合法用户用频冲突不断发生和性能下降。

(2) 电磁频谱不高效。频率冲突引起频谱资源低效利用,且固定频率划分又造成部分可用频率闲置,同时业务与频率固定难以做到电磁环境自适应。

(3) 电磁环境不绿色。为提高自身信噪比,大量业务系统增大发射功率,无用发射随之增大,电磁环境背景噪声和系统功耗升高、环境信噪比下降。

(4) 电磁环境不安全。在网络电子战威胁下,智能干扰、灵巧干扰、诱骗干扰和网络入侵等人为恶意攻击以及侦察、监视等手段技术水平不断提高。

当前的固定频谱管理模式和“只

顾自己不顾别人”的用频方式,不能从根本上解决以上问题。面对挑战,需要跳出传统发展思路的框框,树立大环境、大管理、大服务的理念,构建和谐、高效、绿色和安全的生态电磁环境的新理论、新思路和新方法,逐步明确发展之路。

3 生态电磁环境的基本概念

如同人类需要生态自然环境一样,无线电业务系统同样需要生态电磁环境。以前的无线电业务系统设计与使用主要考虑自身的业务种类和抗干扰等需求以及基于业务的固定频谱管理模式等,很少考虑频谱使用和单系统性能、功能设置等要素与所处电磁环境相互作用的关系。

(1) 和谐电磁环境

和谐电磁环境是指各无线电业务系统的频率、功率等要素之间相互合作的电磁环境,个体与环境之间形成良性的循环,而非只顾自己、不顾别人。

(2) 高效电磁环境

高效电磁环境是指频谱利用率高的电磁环境^[10],实现“频谱无处不在”、“泛在频谱”和电磁环境自适应,不仅仅是追求用户个体频谱利用率高。

(3) 绿色电磁环境

绿色电磁环境是指信噪比高、背景噪声低的电磁环境,这要求各种无线电业务系统无用发射功率低,且能耗低。和谐、高效均有利于形成绿色电磁环境。

(4) 安全电磁环境

安全电磁环境是指各类电磁活动能够正常拥有和使用电磁频谱,而且其秘密电磁频谱信息不被窃取和利用的电磁环境^[11-12]。安全电磁环境属于对抗范畴。

(5) 几个基本概念之间的关系

和谐、高效、绿色电磁环境之间不是独立的,是相互联系的,侧重点各有不同,和谐、高效、绿色电磁环境的构建有利于安全电磁环境的形

成。基于此,文章将和谐、高效、绿色、安全电磁环境的总和称为生态电磁环境,其目的是用户个体与电磁环境形成良性循环,具有自调节、自恢复能力。

4 电磁环境“外部不经济”现象建模

自然环境是指与人类密切相关的,影响人类生活和生产的各种自然要素和人为要素及其相互作用的总和。影响自然环境的自然要素主要有天象(宇宙、太阳、月球等)、气象(雨、雪、雾、风、雷电、云层、水汽等)、地理(地质、地形、地貌、植被、河流、建筑物等);影响自然环境的人为要素主要有工业污染和生活污染等。某一区域自然环境的评价指标主要包括生物丰度、植被覆盖、水网密度、土地胁迫、污染负荷等,其整体状况可由各评价指标加权后的综合指数描述。

类比自然环境,影响电磁环境的自然要素主要有天象(太阳、天电、电离层等)、气象(雨、雪、雾、风、雷电、云层、水汽等)、地理(地质、地形、地貌、植被、地物、建筑物等);影响电磁环境的人为要素主要有工业噪声干扰、集合无意辐射、用频活动(如天地一体和短波等远程传输系统间同频竞争、中大功率台(站)无用发射形成的无意干扰)等。电磁环境的评价指标主要包括污染负荷类指标(噪声电平或噪声系数、频率-时间占用度等)和环境利用类指标(频谱利用率、误码率、可通率、目标检测概率等),电磁环境整体状况可由各评价指标加权后的综合指数描述。

在经济学中,“外部不经济”主要指某些经济主体因其他经济主体的行为而受到不利影响且又不能从造成不利影响的经济主体获得应有补偿的经济现象^{[7][13]},其根源在于地域及环境资源的不可分割性。某些国家和地区的经济、行业发展与自然环境恶化之间的矛盾属于典型的

“外部不经济”问题。显然,经济活动中的外部不经济行为破坏了自然环境。与此类似,在相同或相邻频段时,远程传输电磁环境具有典型的地域和频谱资源不可分割性,在频谱资源有限和业务用户不断增加的情况下,加上人为要素的负面影响,也同样受到外部不经济现象的困扰,使得所处电磁环境持续恶化。

运用外部不经济原理,远程传输电磁环境的外部不经济现象可以建模为^{[7][13]}:

$$F_j = F_j(X_{1j}, \dots, X_{nj}, X_{1k}, \dots, X_{mk}) \quad (j \neq k) \quad (1)$$

公式(1)中, F_j 表示某单一远程传输系统 A 利用频率 f 运行的效用函数,它受制于一系列的自然要素 (X_{1j}, \dots, X_{nj}) , 以及可能对其造成影响的一系列人为要素 (X_{1k}, \dots, X_{mk}) , 这些人为要素也称为用频活动中的外部不经济行为,它们对所处电磁环境产生了负面影响,降低了远程传输系统 A 的效用函数,系统 A 是“外部不经济”结果的接受者,即

$$\partial F_j / \partial X_{ik} < 0 \quad (1 \leq i \leq m) \quad (2)$$

类比自然环境外部不经济现象,结合以上模型,远程传输电磁环境的外部不经济现象具有非市场调节性、非故意破坏性、强迫性、累积性、相互性等特征。

与外部不经济相反,“外部经济”是指某些经济主体因其他经济主体的良好行为而受到有利影响且又无需付出额外成本的经济现象。因此,将外部经济的自然环境称为生态自然环境,即有利于人类和各种生物及其种群之间和谐相处的各种人为要素及其相互作用关系的总和,可由自然环境综合指数判定是否满足生态自然环境要求。与生态自然环境概念类比,可进一步将生态电磁环境理解为外部经济的电磁环境,即有利于各种无线电业务系统运行的各种人为要素及其相互作用关系的总和,可由电磁环境综合指数判定是否满足

生态电磁环境要求。

5 构建生态电磁环境基本机理与方法

5.1 数学模型

科学界在研究生态环境的过程中,为从不同角度刻画生态系统及其变化规律,建立了数学生态学,产生了诸多数学模型^[14],如 Lotka-Volterra 模型和生态平衡方程、竞争系统模型、互利系统模型、随机动力学模型等,其中的随机动力学模型可以用于研究刻画生物种群(群落)生灭、平衡的变化规律、制约关系、改良和控制等。生态系统及生态环境研究的数学成果^[14-15]已在其他领域得到广泛应用,如金融生态环境、生态经济学等。也可以通过移植和映射等方法,研究电磁环境中的类生态特性,刻画无线电业务系统用频与电磁环境之间的相互作用关系。

设 $\psi^0 = \psi^0(v^0, x^0, \Sigma^0, f^0)$ 为原模型,其中, v^0 为系统初始外部环境, x^0 为原系统内部组成, Σ^0 为原系统内部结构, f^0 为原系统功能。 $\psi(t) = \psi(v(t), x(t), \Sigma(t), f)$ 为一新模型,其中 $v(t)$ 为系统外部环境, $x(t)$ 为系统内部组成, $\Sigma(t)$ 为系统内部结构; f 表示系统功能。原模型通过映射 $\eta(t)$ 变换成新模型 $\psi(t)$, 表示为:

$$\eta(t): \psi^0 \rightarrow \psi(t) \quad (3)$$

上述模型映射 $\eta(t)$ 可以分解为近似映射 $g(t)$ 、同态映射 $h(t)$ 乘积。

生态数学模型作为一种重要的生态学研究方法,在解释生态现象,描述生态系统物质、能量、信息、价值流向等生态变化过程,揭示生态系统内在规律,预测生态变化趋势,定向调控和优化管理生态系统等诸多问题中,都发挥了巨大作用。研究生物发展变化的常用数学生物学模型是生物群落动力学模型方程^[14]:

$$dx/dt = b(x, t) + \sigma(x, t)\xi \quad (4)$$

公式(4)中 $x=(x_1, \dots, x_n)$ 表示群落中相互作用各种群大小构成的向量, 其中 n 为种群数量; $b(x, t)$ 是偏差函数向量, 对应于各种群大小的确定性成分; $\sigma(x, t)$ 是随机波动强度向量; ξ 是白噪声向量, 是简单扩散 Wiener 过程的导数。

研究物种退化问题时, 公式(4)可以变化为 Volterra 群落退化问题^[14]:

$$dx/dt = x^*Ax + \xi \quad (5)$$

公式(5)中, $x^* = \text{diag}\{x_1^*, \dots, x_n^*\}$ 是正平衡状态的对角矩阵, $A=(a_{ij})$ 为群落矩阵, $\xi = \sigma(x, t)\xi$ 为噪声项。

在研究生态平衡时, 有生态平衡方程。通常, 生物群落有 3 种基本变量^[14]:

- 生产者, 其生物量为 x_i ($i=1, 2, \dots, m$; m 为生产者总数);
- 消费者, 其密度为 y_j ($j=1, 2, \dots, n$; n 为消费者总数);
- 分解者, 其浓度为 c_k ($k=1, 2, \dots, p$; p 为分解者总数)。

反映质量守恒定律的生态平衡方程可以写为^[14]:

$$\begin{cases} \frac{dx_i}{dt} = (F_x^i - D_x^i)x_i - \sum_{j=1}^n V_{ij}y_j + R_x, & i=1, 2, \dots, m \\ \frac{dy_j}{dt} = (F_y^j - D_y^j)y_j - \sum_{r=1}^m V_{jr}x_r + R_y, & j=1, 2, \dots, n \\ \frac{dc_k}{dt} = \sum_{j=1}^n U_{kj}y_j - \sum_{i=1}^m W_{ki}x_i + R_c, & k=1, 2, \dots, p \end{cases} \quad (6)$$

公式(6)中, F^i 和 D^i 分别是生产者和消费者的出生率和死亡率; V_{jr} 为第 r 类生物消费第 j 类生物的消费函数; W_{ki} 为第 i 类生产者吸收 k 类养分的消费函数; U_{kj} 为第 j 类消费者被分解为 k 类养分的生产强度, R_x 、 R_y 、 R_c 分别是与 3 种组分相对应的出入流量的总和。

以上这些数学生态学模型, 已经从生态学抽象成数学, 可以应用于各种生态模型中。由于电磁环境恶化主要是由人为造成的, 是可逆的, 电磁环境也是一种类生态环境, 因此可利用上述模型, 通过公式(3)的映射关系, 映射到生态电磁环境中, 用于研究不同无线电业务系统的发展变

化, 包括电磁环境控制与还原措施。

5.2 生态电磁环境的稳定性

生态系统中稳定性的定义有多种, 普遍采用的定义是以俄国数学家 A. M. Lyapunov 的名字命名的 Lyapunov 稳定性^[15]。假设微分系统为:

$$\frac{du_i}{dt} = f_i(u_1, u_2, \dots, u_n) \quad (7)$$

$u^*=(u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*)$ 是它的平衡点或稳定状态, 即满足方程 $f_i(u_1^*, u_2^*, \dots, u_n^*)=0$ 。

$$\|u(t, u_0) - u^*\| < \varepsilon \quad (8)$$

对一切 $t \geq t_0$ 成立, 则称 u^* 是局部 Lyapunov 稳定的, 这里 $u(t, u_0)$ 是相应于初值 u_0 的解。进一步, 如果当 $t \rightarrow +\infty$ 时, 有 $u(t) \rightarrow u^*$ 成立, 则 u^* 是渐进稳定的; 如果对于任何初值函数都成立, 则 u^* 是全局渐近稳定的。反之, 如果 u^* 不是局部稳定的, 则称 u^* 是不稳定的。通过上述定义和公式(3)的映射关系, 公式(8)也可以用于研究远程传输电磁环境的稳定性及其判断。

6 需突破的关键技术

要实现文中提出的构建天地一体化生态电磁环境的思路和模型, 在利用有关已有技术基础上, 需突破一些具有原始创新的关键技术。

(1) 天地频率共享技术

天地频率共享是构建和谐、高效电磁环境的基本要求。由于天地一体化信息网络具有地域不可分割性, 在天地频段相同或相邻条件下, 还具有频谱资源不可分割性。因此, 不仅单个用户的发射可能对大范围内的其他用户接收机形成干扰, 而且随着用户数量的不断增加, 处于相同频率、不同地理位置的用户相互作用, 共同影响电磁环境。因此, 要实现天地频率共享, 需要将非合作竞争转化为合作竞争, 建立相应的数学模型, 分析不同用户之间频率、功率、节点

和范围等多元要素的关联性, 并研究其实现技术。

(2) 降低无用发射技术

降低无用发射功率是构建绿色电磁环境的内在要求和必由之路。在当时无线电技术水平和器件工艺制约条件下, 现行国际《无线电规则》有关条款^[16]对无线电设备无用发射主要做出了相对衰减或固定衰减的限值规定。根据新的发展需求, 首先要根据必要带宽、带外域和杂散域的定义和计算方法, 建立无用发射功率分布模型, 解决无用发射是否合理的评判问题; 其次, 利用全数字发信机的最新成果^[16], 发挥数字射频功放在高效率和线性等方面的优势, 进一步降低无用发射功率限值。

(3) 天地频谱服务技术

频谱服务技术作为构建和谐、高效、绿色电磁环境的纽带, 需要在天地一体化系统中开发和应用。所谓频谱服务, 是一种基于 Web 的分布式决策的、新的频谱管理模式^[7], 也是一种频谱接入模式。用频决策权在用户, 用户能实时获取所需频率和接入等服务, 用户数量几乎不受限制, 响应速度也几乎不受用户数量的影响。预示着频谱资源从预先划分、冲突协调的静态管理模式, 走向政策推动、按需接入、自主决策的动态资源共享与服务模式, 频谱使用从单网独占模式, 走向多网共用开放式模式。

(4) 频谱安全控制技术

电磁频谱安全与控制是构建安全电磁环境的核心, 主要在对抗条件下使用。电磁频谱安全是指应对频谱资源争夺与占用威胁的电磁频谱战略性安全, 应对电磁干扰与限制威胁的电磁频谱可用性安全和应对侦察监视与利用威胁的电磁频谱保密性安全等^[11-12]。电磁频谱安全控制是指规避或降低电磁频谱安全风险所需的预测、监测、评估、协调和处置等控制活动^[11-12]。面对网络电子战的新威胁, 该项内容对于建设大型远程信息系统尤为重要, 以确保天地一体化

信息网络在对抗条件下的电磁环境安全。

7 发展建议

(1) 构建军民融合天地一体化信息网络体系

未来天地一体化信息网络是一个复杂系统工程,为使其正常运行和发挥更大的使用效益,从需求论证、总体设计到技术开发、系统运行,都需要贯彻军民融合、军民共用和资源整合的指导思想,避免军民各自建设。美国的全球定位系统(GPS)和“铱”系统等就是很好的例证。

(2) 加强天地一体化信息网络的完整性设计

理论和实践表明,一种巨型信息系统的设计,除了业务类型和服务范围等基本要素外,需提前考虑所需的频谱和轨道资源?如何做到频谱可用?如何降低频谱信息被窃取的风险?即电磁频谱战略性安全、可用性安全和保密性安全^[11-12],从而构建生态电磁环境。

(3) 推动天地一体化生态电磁环境专项研究

构建天地一体化生态电磁环境是一项探索性、理论性和先导性很强的研究工作,涉及范围广,需求迫切,难度很大,要做好长期打攻坚战准备。建议相关主管部门引起高度重

视,尽快开展立项论证和研究工作,以破解电磁环境恶化的难题,争取战略主动权。

8 结束语

构建和谐、高效、绿色和安全的天地一体化生态电磁环境研究是一项关系到中国未来信息网络健康发展的重大课题,对于国家利益拓展和国防建设具有战略意义,涉及的关键技术可能具有颠覆性、前沿性和广域性。我们要拓展研究思路,树立生态电磁环境科学发展的理念。

致谢

本文得到赵杭生、张建照、刘忠英、柳永祥、张余等专家和杨健、曹龙等博士生的大力支持,在此一并表示感谢!

参考文献

- [1] International Telecommunication Union. Technical and Operational Principles for HF Sky-wave Communication Stations to Improve the Man-made Noise HF Environment (ITU-R 258/5)[S]. Switzerland: ITU, 2015
- [2] 姚富强,刘忠英,赵杭生.短波电磁环境问题研究[J].中国电子科学研究院学报,10(2):156-161
- [3] 工业和信息化部无线电管理局.2012年世界无线电通信大会工作总结汇编[R].北京:工业和信息化部无线电管理局,2012
- [4] Headquarters Department of the Army. USA. FM 3-38 Cyber Electromagnetic Activities [S]. 2014
- [5] DARPA. Behavioral Learning for Adaptive Electronic Warfare: DARPA-BAA-10-79[S/

- OL]. <http://www.fbo.gov>.2010.7
- [6] International Telecommunication Union. Radio Regulations [S]. Switzerland: ITU, 2015
- [7] 姚富强,赵杭生.宽频带生态电磁环境技术研究可行性论证[R].2015
- [8] International Telecommunication Union. Unwanted Emissions in Spurious Domain: Rec. ITU-R SM.329-12 [S]. Switzerland: ITU, 2012
- [9] International Telecommunication Union. Unwanted Emissions in out-of-band Domain : Rec. ITU-R SM.1541-5 [S]. Switzerland: ITU, 2013
- [10] 姚富强,张建照,柳永祥,等.动态频谱管理的发展现状及应对策略分析[J].电波科学学报,2013,28(4):794-803
- [11] 姚富强,张余,柳永祥.电磁频谱安全与控制[J].指挥与控制学报,2015,1(3):278-283
- [12] 姚富强,柳永祥,张余,等.电磁频谱安全与控制技术-2014-2015指挥与控制科技发展报告[M].北京:科学技术出版社,2016
- [13] SMITH R L. Elements of Ecology [M]. New York: Harper and Row Publishers, 1986
- [14] 林支桂.数学生态学导引[M].北京:科学出版社,2015
- [15] MAY R, MCLEAN A. 理论生态学—原理与应用(第三版)[M].陶毅,王百桦译.北京:高等教育出版社,2010
- [16] 姚富强.新一代无线电平台数字射频核心技术研究与工程实践[J].中国科学:信息科学,2014,44(8):965-979

作者简介



姚富强,军委装备发展部第六十三研究所研究员、博士生导师,中国指挥与控制学会电磁频谱安全与控制专业委员会主任委员;主要从事通信系统与关键技术等科研工作,研究方向为通信抗干扰、电磁频谱安全;已获国家科技进步二等奖和部委级科技进步奖多项;拥有中国发明专利20余项,出版专著4部,发表论文130余篇。

有中国发明专利20余项,出版专著4部,发表论文130余篇。

综合信息

全球移动视频市场规模将在2021年达250亿美元

Strategy Analytics 最新研究报告《2010—2021年全球移动视频预测》指出,全球移动视频市场规模将在2021年达到250亿美元,届时广告投入将驱动三分之二的移动视频总市值。

报告评估了2010—2021年间全球主要区域的移动视频用户数和移动视频收益规模。移动视频收益按商业模式划分,包括销售、租赁、订阅和广告费赞助。

Strategy Analytics 无线媒体战略分析师石伟表示:“移动视频收益最大的增长将来自广告赞助,这是由于

用户与日俱增的视频消费为广告商提供了机遇。未来5年移动视频广告收益的年复合增长率将达到28%。”

无线媒体战略研究总监 Nitesh Patel 补充道:“尽管用户的移动视频消耗正在增加,但广告商在移动视频上的投入尚未赶上用户收看移动视频的增长。此外,移动视频服务的新模式,如一些视频直播平台在盈利前正着手吸引更多的用户。当前,社交媒体利用在线视频直播形式提高用户参与度,同时延长用户在社交媒体上的消耗时间,我们预计收益将会随之而来。”

(转载自《中国信息产业网》)