

# 软件无线电 (SDR) 技术的最新趋势和未来前景



Kozo Keikaku Kenkyusho Co., Ltd. 业务发展部软件无线电技术办公室

富士 胃 好吧 水原  
藤井美美

## 1. 1.介绍

我们的 SDR 方法于 2013 年初在德国实施。

首先参观弗劳恩霍夫海因里希赫兹研究所 (Fraunhofer HHI)。Fraunhofer HHI 当时已经在使用 SDR 作为 5G 的研究原型平台。回到日本后,我立即开始了 SDR 的商业化活动,并在日本推广 SDR。四年后,截至 2017 年,SDR 的使用在日本不能说已经全面推进。根据我们的经验,这篇文章目前在日本

我将从SDR周围的环境以及未来如何在世界范围内传播和发展SDR的角度进行写作。

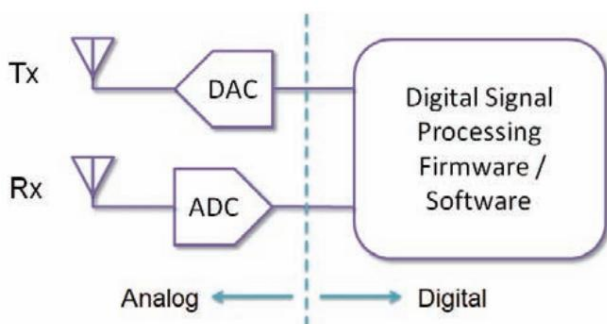
## 2.什么是特别提款权?

### 2.1 软件定义无线电原理

首先什么是软件无线电 (SDR)?最初在英语中称为软件无线电 (SR),这项技术与许多其他学科一样,是模拟无线电。

由数字电路放置子电路实现的部分

此外,在无线 (通信)领域中应用相当于数字电路的计算机软件取代它的自然流程是一个概念。(以接收机为例)假设目标频率的高频信号可以用高速AD转换器进行数字化,如果可以准备一台足够高速的计算机,将使用什么样的无线方法?理论上是通过软件的数字信号处理来实现。没有人会对此提出异议。然而,实现这一目标的时间比最初预期的要长。



■ 图 1.特别提款权原则

仅仅因为原则上 SDR 是可能的,所有传统的“硬件”无线电都是立即软件定义的无线电。

A. 不能用收音机代替。在 NTT 实验室

自 1990 年代后期我第一次看到软件定义无线电的原型以来,已经过去了 20 年,但是有一个故事说软件定义无线电已经淘汰了硬件无线电。

我还没听说过。相反,软件定义无线电的传播是即使现在是 2017 年,它仍然在路上。那么是什么阻碍了它呢?要普及SDR,就必须找出阻碍它的因素,并一一做出来。

它需要被删除。

### 2.2 软件定义无线电的定义 (第 1 部分)

根据我的经验,我使用术语软件定义无线电的定义。

取决于个人。也就是说,“软件定义无线电”或

当你说“SDR”时,它们是同一个词

的含义不同。SDR的意思是取决于人的立场或对人的了解程度

你所做的完全不同。例如,“软件

A...” ,但也许多工程师会立即想到 RTL-SDR 或 USRP。但如果你问我,它是“硬件”,“所以

这不是“鞋”。

软件无线电应以“软件”为主要特征,本文将USRP等硬件称为“SDR设备”。“软件

“A wireless”是掌握了无线技术的软件工程师

这不过是技术。从这个意义上说,“软件定义无线电”是指 RTL-SDR 和 USRP 等硬件的术语。

一定不是。

维基百科 (日语)对软件无线电的定义如下。被认为重要的部分带有下划线。

软件无线电是一种通过改变控制软件而不改变电子电路 (硬件)的无线通信方式。

可以切换公式或其技术的无线通信。

一般来说,许多调制方案在很宽的频率范围内

为了成为可能,软件被认为是控制尽可能多才多艺的可编程硬件。

### 2.3 软件无线电定义 (第二部分)

近年来,在各种情况下都有“软件定义无线电”。

来看看一个叫“DSP收音机”的收音机,它通过软件实现了内部信号处理。例如,业余无线电。“DSP”在近几年发布的很多比较高端的业余无线电中已经司空见惯。一家海外制造商也发布了所谓的“全SDR收音机”。但你真的可以称它们为“软件定义无线电”

是吗?根据我的定义,它们是“软件定义的无线电技术”

尽管它是“使用无线电开发”,但它不是我认为的“软件无线电”。

软件工程师可以通过充分利用软件来解决问题的工具,即“Soft”

它只不过是一个 tware 收音机。软件定义无线电如下

相信它一定有满足这三点的软硬件开发环境。支持广泛的频率

- SDR 设备内部尽可能限制频率范围。  
最好不要有硬件要做。它们可以根据需要进行外部连接。

#### · 软件可控的通用硬件

- 硬件应该是通用的商业产品(尽可能便宜),而不是定制产品。  
它还标配用于软件控制的设备驱动程序和 API。

那。希望它们是开源的。

- 可通过软件进行调制/解调等数字信号处理  
· 自由使用PC、DSP、FPGA的软件  
可以创建。

只有满足这三点,SDR才能成为一种软件技术。

它可以是人们可以使用的工具。从这个角度来看,在本文中,我想看看软件定义无线电世界周围环境的当前状态和对未来的展望。

### 3.3.现在的特别提款权

#### 3.1 软件无线电方法

在过去 20 年左右的时间里,已经设计出了许多软件定义无线电系统

它一直根据AD/DA转换前后是否进行RF信号的频率转换,以及进行时进行何种转换,可分为图2所示的三种方法。

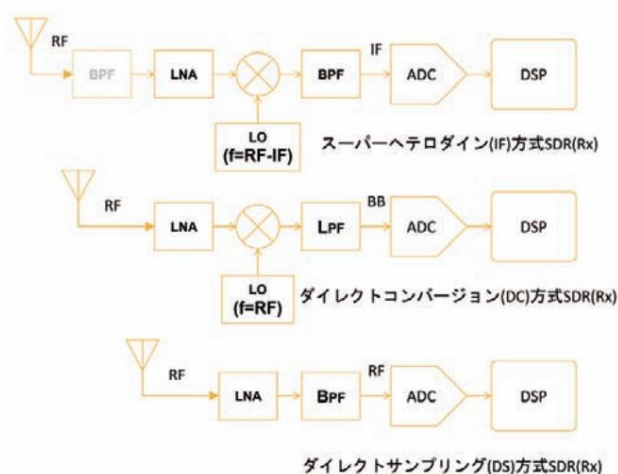


图 2.典型的软件定义无线电系统 (接收机)

#### 3.1.1 超外差法(IF)超外差法是来自相邻频率的图像。

带通填充射频频段,避免发生

这是一个非常好的方法,除了它需要数据(BPF)的缺点。当试图改变 BPF 的通带频率时,通常使用 LC 谐振电路。令人失望

然而,SDR 所需的宽频率在 LC 中实现。

当试图用 BPF 覆盖时,除了切换和使用许多 LC 电路之外别无他法,这也是 SDR 设备避免采用超外差方法的最大原因。

它变成了。然而,窄带无线电是软件定义无线电。

当实现时,倾向于采用这种方法。3.1.2 直接转换(DC,零中频)法

直接转换法也称为零中频法。

通过超外差法将中频设置为0Hz。

您也可以将其视为一种方法。由于原则上不会出现图像问题,所以也省略了变频前的BPF。

这是可能的。此外,通过将 IF 设置为 0Hz,圆周

波数转换后的滤波器可以使用 LPF 代替 BPF,因此具有可以简化电路的优点,并且由于手机和无线 LAN 子机等小型化的要求,LC 电路难以安装。这种直流方式已被广泛使用。目前广泛使用的许多 SDR 设备都使用这种方法。3.1.3 直接采样(DS)法根据采样定理,如果AD转换前的模拟信号中含有超过采样频率1/2的频率成分,则成为混叠成分,包含在采样结果中。

fs



它混合并导致失真。从此,超人  
就算是达因法,直接换算  
另外,变频后,使用BPF或LPF创建带外  
删除分钟是很常见的。这个直接  
采样方法主动使用此别名组件。  
这样做,直接从射频信号中提取,无需经过变频  
这是一种获取数字样本的方法。LO相位噪声在附近  
Meri,例如通过波数转换避免混合  
此方法用于某些 SDR。

### 3.2 各种SDR设备

截至 2017 年,来自许多供应商的种类繁多的 SDR  
设备可用。在这里相对容易获得  
专注于廉价 (数千至数万日元)SDR 设备的列表  
我在表中比较了它们,对应频率范围和PC的I/F差异  
虽然在频道数等方面存在差异,但 RTL 仅用于接收  
除 SDR 外,所有设备的规格都有很大差异。  
不。自 2017 年起,用于教育用途的 10,000 日元水平  
SDR设备已经出现,这将加速SDR的普及。  
是期待。

### 3.3 主要软件开发环境

我之前提到 SDR 需要软件。一般用途

即使在软件开发环境中也可以开发  
编号处理是一种通用的编程语言和软件开发环  
边境地区很难高效发展。因此,它适用于 SDR  
已经提出了一些软件开发环境。

#### 3.3.1 GnuRadio

从 GnuRadio 这个名字就可以看出,一个开源的  
它是专用于 SDR 的开发环境。最初,USRP 软件  
A. 作为开发环境,有很多厂商,Ettus Research。  
它的开发做出了巨大的贡献。GitHub上的源代码  
由许多 SDR 程序员发布和贡献  
有意见。

用 C++ 开发的单个信号处理组件

然后在 Python 中一起使用它们。图形化的图形用户界面,称为  
GnuRadio Companion (GRC)

通过各种编程可以实现各种信号处理。

GnuRadio 最初是在 Linux 上开发的,但现在是 Windows  
安装程序也可用。

#### 3.3.2 LabView

LabView 由美国的 National Instruments, Inc. 销售。

能够控制实验设备和信号处理的视觉专家

这是一个语法环境。不仅适用于 SDR,

■ 表。典型商用 SDR 设备的比较

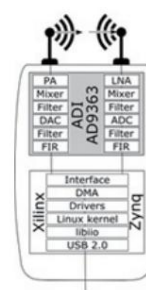
	RTL-SDR	USRP	刀片射频	石灰SDR	亚当-冥王星
供应商	RTLSDR.com 等	Ettus Research, Inc. 美国 Nuand, Inc.		UK Lime Microsystems, Ltd. 美国 Analog Devices, Inc.	
利用	爱好、研究	研究、原型设计、教育	研究、原型设计、教育	研究、原型设计、教育	教育
频率	28MHz ~ 1700MHz 70MHz ~ 6GHz		300MHz ~ 3.8GHz 100kHz ~ 3.8GHz		70MHz ~ 3.8GHz
带宽	2.8MHz	56MHz	28MHz	56MHz	20MHz
广告/数据	8位	12位	12位	12位	12位
通道数 1 (仅限 RX)		1 或 2	1	2	1
I / F USB 2.0 与 PC		USB3.0 或以太网	USB3.0	USB3.0 或 PCIe	USB2.0
未安装 FPGA		是的,这取决于型号 Cyclone IV		旋风四	ZYNQ7100
价格	1,000 日元至 3,000 日元 80,000 日元至数十万日元		54,000 日元 ~ 84,000 日元 30,000 日元 ~		15,000日元
评论	中频法	DC 或 DS 方法	直流法	直流法	直流法

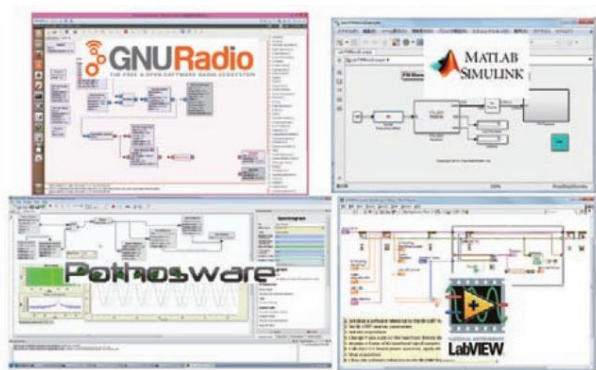


■ 图 3。刀片射频



■ 图 4。亚当-冥王星





■ 图 5.各种SDR软件开发环境

NI先后收购了Ettus Research等SDR相关公司,并为其SDR设备提供了LabView作为其开发环境。视觉专业版

不仅是gramming,最后还嵌入到了FPGA、SoC等中。  
支持生成在环境中工作的 SDR 代码  
已经完成。

不幸的是,LabView 支持 NI 以外的 SDR 设备。

那不是你在做什么。

### 3.3.3 MATLAB/Simulink

美国著名的 Mathworks 通用仿真

SDR 平台 MATLAB/Simulink 也是 SDR 软件

它通常用作软件开发环境。数学作品

由于我没有自己的 SDR 设备产品,因此具有许多 SDR 设备的 I/F 从相对中立的位置得到支持。尤其是与美国Analog Devices, Inc.关系密切,其SDR设备为正版Mathworks。

仅作为 I/F 代码的硬件支持包

它提供了各种示例程序。

和 LabView 一样,MATLAB/Simulink 也是一套 FPGA 等。

支持就足够了,包括生成在内置环境中工作的代码。

### 3.3.4 其他

除了以上三个,Pothos SDR等免费开发圈

还提出了边界。FPGA 供

应商也有支持 SDR 的开发工具和软件。

我们提供了一整套可在此处使用的 IP 内核。例如,米饭

国内Intel (原Altera)提供的DSP Builder是一个可以集成到Simulink中的开发环境,可以从Simulink上的仿真验证到HDL生成无缝执行。

Mathworks 的 HDL Coder 也用于类似目的。终于实时

由于需要将其作为执行处理的嵌入式系统来完成,因此这种用于 HDL 高级综合的开发环境自然会成为未来的主流。

## 四。SDR 应用示例

现在的SDR设备能做什么,能做多少,不管你是经理还是工程师,那是最好的

似乎非常关心。我们推广 SDR 的立场

但同样如此。让人们意识到 SDR 可以做什么并增加其曲目将直接导致 SDR 的传播。

### 4.1 调频收音机与

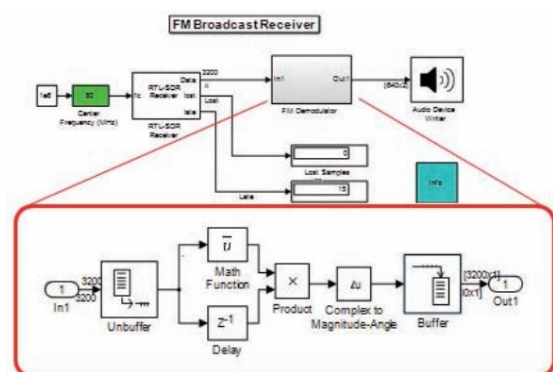
使用传统模拟电路的调制和解调电路不同,数字方法的优点是可以直接实现该方法的原理。图 6 显示了 FM收音机。如果不深入了解组成它们的电子元件的特性,就很难理解调频检测电路的工作原理。另一方面,数字信号处理保持数学公式不变。

只需块替换它即可轻松工作。如图所示

FM解调电路取IQ信号的复共轭,乘以一个采样延迟,以非常简单的方式从FM基带信号中提取相位角。

是在做。这种简单性让学生了解无线通信的原理

它在教学时也非常有用。



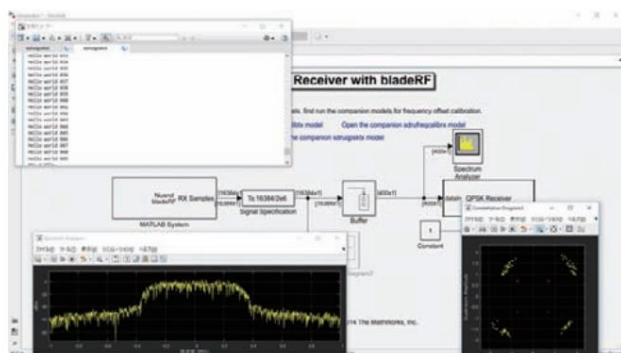
■ 图 6.在 Simulink 中创建的 FM 收音机和 FM 解调模块的内部结构

### 4.2 窄带数字无线 (QPSK) 通信器

流行的 DC 型 SDR 设备是窄带通信

据说不太适合实现机器,但是对于很早期的原型制作很有用。图 7 是在 MATLAB / Simulink 中创建的窄带无线电 (QPSK) 示例。Mathworks 的接收器就是一个例子。





■ 图 7.在 Simulink 中实现的 SDR QPSK 接收器

我正在改造作为样本提供的内容。数据速率在几十kbps左右,但特别是在接收端,如果频偏校正、符号定时恢复等全部处理都由软件进行,处理量会相当大,一般用于件。

处理器几乎不可能进行实时信号处理

这是一个有无的水平。

#### 4.3 GNSS (GPS) 信号的合成GNSS

(GPS) 信号是软件定义无线电的理想目标,因为它们的数据速率非常低。目前,仅使用 GPS 就可以在日本上空随时接收大约 10 颗卫星,包括准天顶卫星 (QZSS)在内的卫星数量的信号由用 C 语言编写的信号生成程序合成。

这取决于采样率,但如果卫星数量那么多

Core i7 7700 (4核4线程L3缓存8MB)一个老虎的CPU很容易产生实时信号。

与多径模拟的卫星数量相同

它需要 GPGPU 的帮助,因为它的计算成本很高,但令人惊讶的是,它仍然可以以比传统硬件信号发生器低得多的成本完成同样的任务。

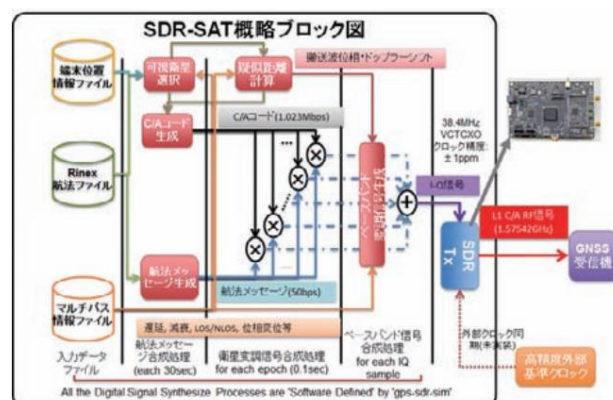
#### 五.特别提款权的未来

SDR 设备将继续变得更小、更轻、更便宜,就像其他硬件设备一样。正如数字音频设备现在是 PC 上的标准配置一样,SDR 设备也遵循相同的路径。

是期待。然而,与音频设备不同的是,Ante

目前还不清楚如何解决Na问题 and 无线电法问题。

PC 的主 CPU 可以处理 SDR 的数字信号处理。



■ 图 8.使用 SDR 合成 GNSS (GPS) 信号

处理性能会如何提升,或者FPGA、GPU等会如何提升?

异构多处理器配置将是未来PC的主力

不知道会不会是趋势。但是,SDR 已作为标准安装在 PC 上

当它成为 SDR 设备的设备时 (模拟电路 +

AD/DA转换和数字滤波器等通用部分的提取和FPGA等信号处理运算块的抽象很重要。

这似乎是关键。SDR申请难

无需担心磨损的微小差异即可进行创建,并且即使安装了来自不同供应商的 SDR 设备和 FPGA,也将有一个可以运行相同应用程序的环境。一旦你在操作系统级别成功地抽象了硬件,剩下的就很容易了。通过扩展和缩小硬件,从超小型嵌入式系统到大型基站

在同一框架上进行软件开发

是可能的。软件开发在无线电开发中占有很大比重,它是由通用组件组合而成的。

带有在硬件上开发的 SDR 软件的无线电

完成的时代可能很快就会到来。

#### 6.综上所述

在这篇文章中,Softwe 从一个软件工程师的角度

A. 描述了无线电的现状及其未来潜力。他谈到了正在普及的商用 SDR 设备,并介绍了使用 SDR 的软件开发环境和应用示例。

我想介绍一下使 SDR 普及的芯片厂商的趋势,但为了杂志的方便,我省略了。我想把它交给下一次机会。

(摘自 2017 年 7 月 14 日信息通信研究组)