

低频 5G AAU RX 链路中 DSA 回退量设置到数字域优势量化分析

德州仪器公司 (TI) 现场应用工程师 Fanlong Li

摘 要

低频 5G AAU(Active Antenna Unit) 是指所用频段低于 6G 以下 通常称 Sub-6G, 相对于 4G RRU(Remote Radio Unit), 5GAAU 两个显著架构特点是天线数增加和天线与收发信机板集成。架构的演变由业务需求和技术特点来驱动。5G 最主要的需求是提高信道的吞吐量, 其通过关键技术 5G MIMO 来实现这一目的。当前, 5GAAU 中最为主流的天线数是 64T64R, 通道数相对于 4G 平均 10 倍的增加, 所以 4G 时候的一些设计理念微小的优化, 会给 5G AAU 中带来显著的收益。本文将聚焦到 RX 链路中的 DSA(Digital Step Attenuator) 回退设置量化分析, 分析会给出 DSA 回退的目的, 回退到数字域对系统带来的优势。该分析可以直接运用到 TI 运用 5G AAU 的核心 transceiver 器件 AFE77XX 和 AFE79XX 的推广中。

Key words: 5G AAU DSA 回退量 TI transceiver

目 录

1 引言.....	2
2 DSA 回退量设置场景及其对系统指标影响.....	2
3 DSA 回退量设置到数字域的噪声影响分析.....	4
4 结论.....	6
5 参考文献	6

图

Figure 1 DSA 在 RX 链路中的位置	2
Figure 2 RX 中 DSA 回退量的设置调节来保证 RX 链路增益恒定.....	2
Figure 3 RX 链路可以抽象为两级级联系统	3
Figure 4 DSA 回退量设置到数字域场景 1: ADC 采样后	4
Figure 5 DSA 回退量设置到数字域场景 2: BBU 处理后	5
Figure 6 ADC 前级模拟增益不一样对 NF 的影响可忽略	5

1 引言

衰减器 DSA 是 RX 链路中核心部件，通过控制 DSA 可以调节 RX 链路增益。早期的通信系统中，比如 3G 系统中还在采用离散的 DSA 器件，例如为大家所熟知的 TI 中频 DVGA LMH6521。而到 4G/5G 系统中，客户追求更高的集成度，所以离散的 DSA 也被随着 AD/DA 集成到一起，形成了 transceiver 器件，参考下图 1 所示典型的 RX 链路的系统框图。无论是离散的还是集成的 DSA 其在运用层面表现特性和影响都是一样的。下面将会详细分析 DSA 的功能及其对系统指标影响主要是噪声系数(NF)的影响，从而给出将 DSA 设置到数字域所带来的优势。

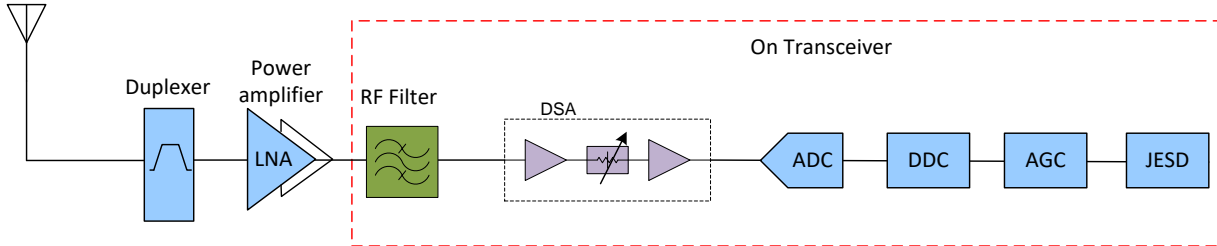


Figure 1 DSA 在 RX 链路中的位置

2 DSA 回退量设置场景及其对系统指标影响

2.1 DSA 设置回退量的目的

RSSI (Received Signal Strength Indicator) 称为接收场强指示，是后台（通过基带处理单元 BBU）实时检测天线口功率的大小。BBU 基带处理单元能时刻计算出数字域的功率，如何将数字的功率转换为天线口的模拟功率 RSSI? BBU 需要知道 RX 通道的模拟增益。而通常该增益会在 AAU 和 BBU 之间提前约定，一旦约定好后 RRU 就需要对 RX 的增益在任何条件下维持恒定（RX 同时实时的开环增益校准），如下图 2 所示。维持 RX 的增益恒定，必须通过增益的调节器来完成。通常 RX 链路中有两个增益调节器（参考图 2）：

- 模拟域的 DSA。
- 数字域的乘法器。

无论是 DSA 还是乘法器，他们只能设置衰减值比如 0~30dB，而 RX 链路的增益闭环必然有双向性，即可以增大也可以降低，所以只能通过增益调节器上提前设置回退量来完成。

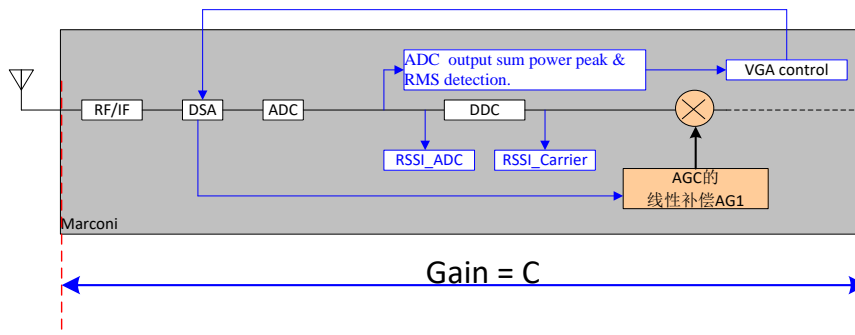


Figure 2 RX 中 DSA 回退量的设置调节来保证 RX 链路增益恒定

2.2 DSA 设置回退量应对的场景

为了保证 RX 的增益恒定，RX 链路上需要有增益的调节点，传统的方案中都是通过调节模拟 DSA。一共有三大场景会影响到 RX 的增益即 DSA 调节场景：

- 温度变化以及工艺的老化导致的 RX 增益的变化，即通常所说的 PVT 补偿。温度的变化通常有 +/-4dB（从常温到高温增益降低 4dB，从常温到低温增益变大 4dB）。
- 补偿通道之间的增益差别。
- RX 自动增益控制（AGC），当 RX 出现大的阻塞信号时候，为了防止 ADC 不溢出，需要控制增益，比如某一场景下 DSA 被设置为衰减 10dB 使得 ADC 不溢出，为了保证增益恒定，需要在数字域通过乘法器将增益提高 10dB。

上述三种场景除 AGC 必须通过调节 ADC 前端的模拟域 DSA 完成，对于其它的两个场景都可以通过数字域乘法器完成。由于需要增益的调节是双向的即可以增大也可以减小，所以通常情况下都是通过将 DSA 在常温下设置回退量达到。在 5G AAU 中，上述三种原因导致的增益插值典型在 +/-6dB，所以客户的通常做法直接做法是在常温情况下，模拟域回退直接设置为 DSA=-6dB。

2.3 DSA 回退对系统指标的影响

DSA 的回退或者说预衰减，对器件指标的直接影响是其噪声系数 NF 的增加，通常情况下增加的比例都是 1dB/dB，即设置多少 NF 恶化多少。

NF 的恶化将直接导致系统整个链路噪声的恶化，那么是如何影响系统总的 NF 恶化呢？我们总可以将任何 RX 链路都简化为两级级联系统，如下图 3 所示。

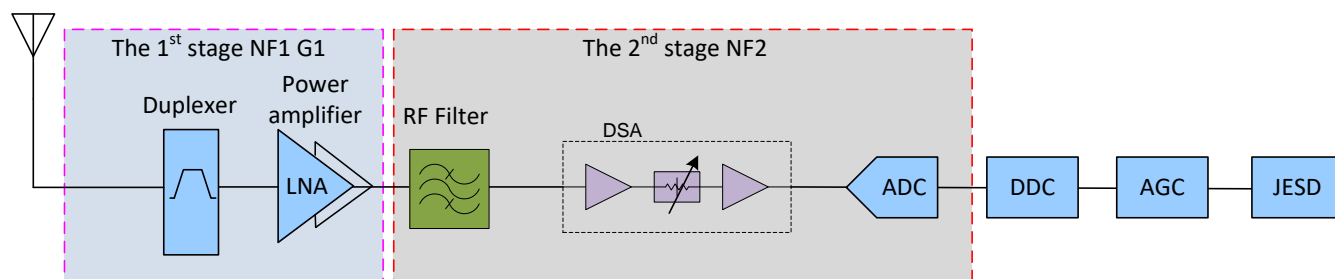


Figure 3 RX 链路可以抽象为两级级联系统

AAU 系统中的 RX 链路，前级多是由双工器+LNA 组成，后级是 transceiver 器件。对于两级级联系统，其总的噪声系数为 NF：

$$NF = NF1 + NF2 - 1/G1$$

上述公式中所有的单位都是线性单位而非 dB 值，通常 $NF2 \gg 1$ ，所以都可以直 $NF = NF1 + NF2/G1$ 。实际的系统中，客户总是要求总的噪声系数为一定值，所以可以看出 NF2 的增加，直接影响的就是前级链路的增益增加，NF2 增加多少，前级增益就需要增加多少（线性值）。AAU 系统中，客户一般前级的增益通过单器件固定在 30dB 左右，如果需要额外增加增益，那么意味着需要增加器件。所以 DSA 回退到模拟域带来的影响是：

- 将直接导致 NF2 的变大。
- NF2 的变大会导致前级需要增加相同的增益值才能维持总的 NF 恒定。意味着很可能需要增加器件来获得更高的前级增益，对于 64TR 系统，将直接导致成本和面积的增加。
- RX 链路设计中，NF 和 IIP3（非线性）设计永远是一对矛盾。高的增益必然导致 RX 链路对后继器件的 OIP3 要求增加，从而增加系统设计的难度。

所以，RX 链路设置中有几个原则需要遵从：

- 尽可能的减小前级增益即尽可能减小前级噪声系数 NF1 和后继噪声系数 NF2. 通常情况下 NF1 较为固定，所以只能尽可能的减小 NF2.
- 前级增益的选取，仅仅只考虑小信号下 RX 链路的灵敏度对整个链路噪声系数 NF 的要求，和阻塞大小无关。

- 在高低温景下，为了维持增高增益恒定，DSA 的控制量完全由前级增益的大小决定，增益大 DSA 衰减多，反之 DSA 少，所以在高低温场景下导致的温度变化，DSA 的衰减不会引起整个链路噪声系数的恶化。

所以，在设计中我们需要尽可能的使得 NF2 最小。

3 DSA 回退量设置到数字域的噪声影响分析

按照第二节中的描述，我们可以总结出增益调节的目的及其设置到模拟域 DSA 上带来的影响：

- 设置目的，保持 RX 链路增益恒定。
- 设置到模拟域 DSA 上将直接导致 NF2 线性恶化 dB).

为此如何给出将衰减值设置到数字域的噪声量化分析显得尤为重要。参考下图 4 给出了分析模型。任何系统，我们都可以将第二级中的噪声分为两大部分：模拟噪声(DSA) 和数字噪声（量化噪声）。图 4 是分析 ADC 采样后的噪声。分析中设置 ADC 的采样率为 2949.12M,其第一个 Nyquist 是 1474.56M, 同时模拟噪声按-154dBfs/Hz, 输入满量程 FS 按照-1dBm 来考虑。可以看出将衰减器回退量设置到数字域，其会恶化量化噪声，但量化噪声对比模拟噪声小很多，所以最终仍然不影响模拟噪声即不影响噪声系数 NF2。

实际系统中，后续基带处理会按照特定的 bit 和位宽来处理，可以参考图 5。可以看到随着数字处理位宽和带宽的减小，量化噪声对比模拟噪声的差值变小，对总噪声影响增加，所以会逐步体现到 NF2 上。但总体而言，都会比设置到 DSA 上导致的 NF2 影响小。概况起来，将衰减值设置到数字域带来两大优势：

- 对 NF2 的影响减小。
- PVT 补偿到数字域而仅仅 AGC 控制 DSA，最大程度减小 DSA 的设置几率，从而减小了 DSA 控制导致 RX 相位变化的概率，有利于 5G AAU MIMO 的校准。

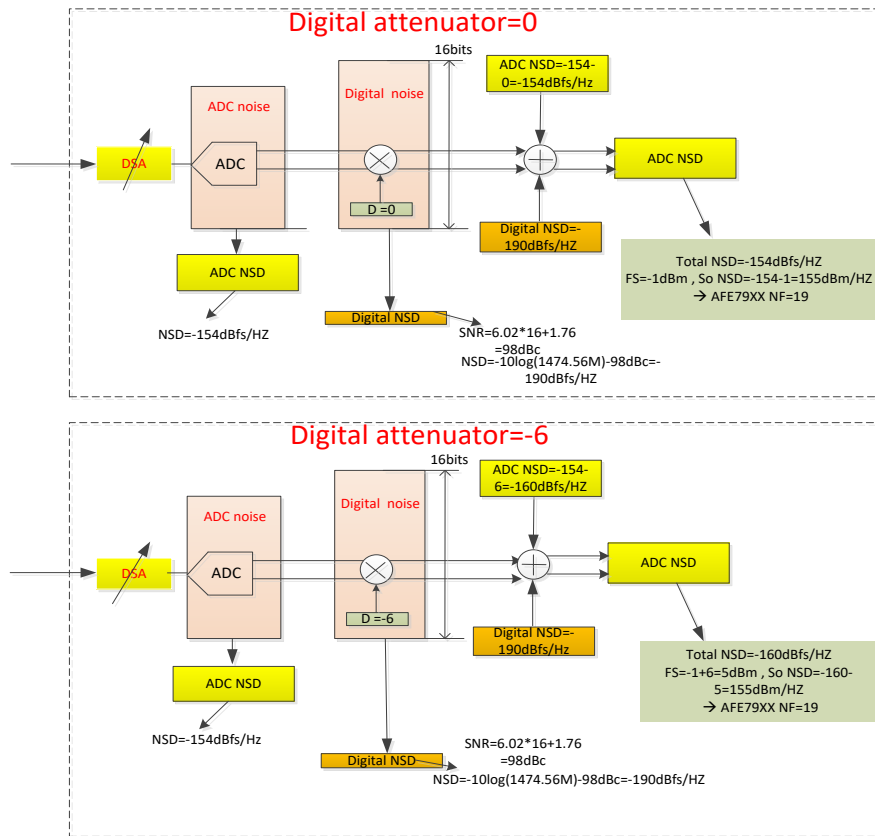


Figure 4 DSA 回退量设置到数字域场景 1: ADC 采样后

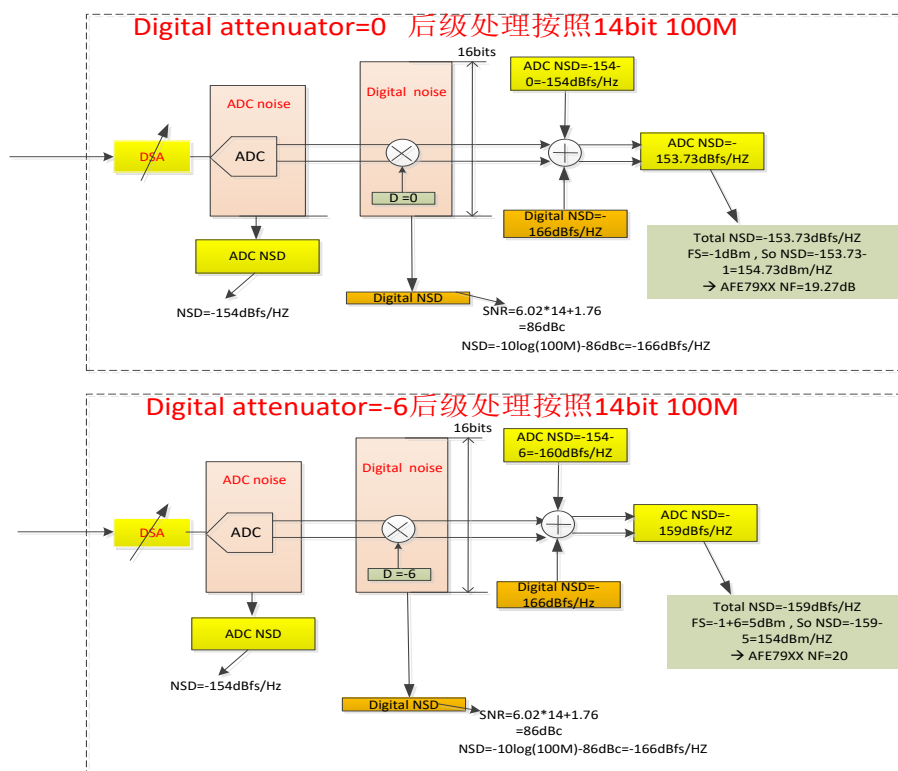


Figure 5 DSA 回退量设置到数字域场景 2: BBU 处理后

分析到这里，或许会有读者会提出：如果回退量设置到数字域，那么会导致 ADC 前端的模拟增益不相同了，会影响整个链路噪声的大小。是的，一定会影响，但需要量化具体影响多少？是否在可以接收的范围内。参考下图 6 所示，可以看到 NF 总的的影响在 0.1dB 内，完全可以忽略。如果前级增益更大，那么影响将更小。

另外，读者可能会说由于设置到数字域导致了 ADC 前面的模拟增益不一样，所以当阻塞发生的时候，各个通道的 DSA 设置值可能会导致交大的差异，从而使得各个通道相位的变化不一致，影响了天线校准。这个问题看似合理，实际上是以偏概全。假设不设置到数字域，为了确保 ADC 前面模拟增益一样，在非 AGC 时候，你设置的 DSA 值必然是不一样的，为何此刻就不会影响通道相位了？总之，将 PVT 的补偿回退量设置到数字域带来了明显的优势和可忽略的影响。值得推荐和推广！

Suppose the constant gain is 30dB(after the DSA) so:

(1) If PVT attenuator set to digital :

@-40 degree analog gain(before DSA)=42dB and DSA=0dB. NF2=18+0=18dB

@25 degree analog gain(before DSA)=36dB and DSA=-0dB.NF2=19+0=19dB

@85 degree analog gain(before DSA)=30dB and DSA=0dB.NF2=20+0=20dB

Supposed the NF1(Max)=3.9 → NF_total.

@-40 degree analog gain(before DSA)=42dB → NF_total=3.91.

@25 degree analog gain(before DSA)=36dB → NF_total=3.94.

@85 degree analog gain(before DSA)=30dB →NF_total=4.07.

(2) If PVT attenuator set to DSA :

If DSA@-40 degree analog gain(before DSA)=42dB and DSA=0dB. NF2=18+12=30dB

@25 degree analog gain(before DSA)=36dB and DSA=-0dB.NF2=19+6=25dB

@85 degree analog gain(before DSA)=30dB and DSA=0dB.NF2=20+0=20dB

Supposed the NF1(Max)=3.9 → NF_total.

@-40 degree analog gain(before DSA)=42dB → NF_total=4.01.

@25 degree analog gain(before DSA)=36dB → NF_total=4.04.

@85 degree analog gain(before DSA)=30dB → NF_total=4.07.

Figure 6 ADC 前级模拟增益不一样对 NF 的影响可忽略

4 结论

本文量化分析了将 RX 链路 PVT 的补偿的 DSA 回退量设置到数字域，带来明显的系统优势：

- NF2 影响减小，从而减小前级增益要求。
- 减小 DSA 调节的几率导致的可能产生的通道间相位变化。

在 5GAAU 系统中，随着通道数目的增加，这种方案带来的优势是明显的，值得推荐和推广。

5 参考文献

1. ADC32RF83 datasheet 2016, Texas Instruments Inc.

重要声明和免责声明

TI 均以“原样”提供技术性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证其中不含任何瑕疵，且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、适合某特定用途或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

所述资源可供专业开发人员应用TI 产品进行设计使用。您将对以下行为独自承担全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的TI 产品；(2) 设计、验证并测试您的应用；(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他安全、安保或其他要求。所述资源如有变更，恕不另行通知。TI 对您使用所述资源的授权仅限于开发资源所涉及TI 产品的相关应用。除此之外不得复制或展示所述资源，也不提供其它TI 或任何第三方的知识产权授权许可。如因使用所述资源而产生任何索赔、赔偿、成本、损失及债务等，TI 对此概不负责，并且您须赔偿由此对TI 及其代表造成的损害。

TI 所提供产品均受TI 的销售条款 (<http://www.ti.com.cn/zh-cn/legal/termsofsale.html>) 以及ti.com.cn上或随附TI产品提供的其他可适用条款的约束。TI提供所述资源并不扩展或以其他方式更改TI 针对TI 产品所发布的可适用的担保范围或担保免责声明。

邮寄地址：上海市浦东新区世纪大道 1568 号中建大厦 32 楼，邮政编码：200122
Copyright © 2019 德州仪器半导体技术（上海）有限公司