

# VOFDM: 前有阻击, 后有追兵

Xiang-Gen Xia

University of Delaware

我一直认为在过去几十年数字通信物理层的主要工作就是怎样处理码间干扰(即 ISI)。无论是过去的有线还是现在的无线信道, 都是如此。

对码间干扰的消除, 有两种方式, 一种是时域处理, 一种是频域处理。时域处理的好处是, 发端简单, 但收端稍复杂一些。更主要的是如果信道比较长或和变化比较快时, 收端会更复杂及可能会来不及应变。

在无线宽带信道时, 如现在的 WiFi 和 4G 和 5G 中, 码间干扰是通过频域处理的方式, 即 OFDM, 把有较强的码间干扰宽带信道变成多个没有码间干扰的窄带信道。

我在上世纪九十年代底提出的单天线 Vector OFDM (VOFDM), 首次正式发表是 2000 年六月份在美国新奥尔良开的 ICC 论文集上, 是把一个宽带信道(如共有  $L$  个符号干扰在一起)变成若干个矩阵子信道, 矩阵子信道间互不干扰, 而每个矩阵子信道中的相互干扰的符号个数正好是向量长度, 且这个向量长度是可以人为控制的, 可以是 1, 或 2, 或 3, ..., 或  $L$  等。当向量长度为 1 时, VOFDM 正好是 OFDM (4G 的下行), 当向量长度不小于  $L$  及 IFFT 的长度为 1 时, VOFDM 就是 SC-FDE (4G 的上行)。过去十年, 我也经常报告过这个 VOFDM, 特别在内地。

不巧的是, 在上世纪九十年代底提出单天线 VOFDM 时, 不知道 Cisco 也在差不多的时候提出了 VOFDM, 不过他们的 VOFDM 是指多天线 MIMO-OFDM, 他们的向量 vector 是指天线方向上的向量。而我提出的单天线 VOFDM 中的向量是指数据方向的。这两个 VOFDM 是完全不一样的概念。遗憾的是, 也许更多人见到 VOFDM 后都认为是 MIMO-OFDM 了。

最近两三年, OTFS 似乎有很多研究, 特别是对时变信道。有意思的是, 已经有论文【5】确认, 当信道平稳(时不变)时, OTFS 就和我提出的 VOFDM 等价了(发端和收端都一致)。其实, 不管是对时变还是时不变信道, OTFS 的发送信号与 VOFDM 的发送信号是一致的(发端一致)!

VOFDM 真是: 前有阻击, 后有追兵! 哈哈!

几个参考文献

【1】 Xiang-Gen Xia, "Precoded OFDM Systems Robust to Spectral Null Channels and Vector OFDM Systems with Reduced Cyclic Prefix Length," *Proceedings of ICC*, vol. 2, pp. 1110-1114, New Orleans, LA, USA, June 18-22, 2000.

【2】 Xiang-Gen Xia, "Precoded and Vector OFDM Robust to Channel Spectral Nulls and with Reduced Cyclic Prefix Length in Single Transmit Antenna

Systems,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 49, no. 8, pp. 1363–1374, August 2001.

【3】 Yabo Li, Ibo Ngebani, Xiang-Gen Xia, and Anders Host-Madsen, “On Performance of Vector OFDM with Linear Receivers,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 60, no. 10, pp.5268-5280, October 2012.

【4】 Yabo Li, “On Mathematical Equivalence Between Vector OFDM and Quadrature OFDMA,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 61, no. 2, pp. 813-814, Feb. 2013.

【5】 Yao Ge, Qinwen Deng, P. C. Ching, and Zhi Ding, “OTFS Signaling for Uplink NOMA of Heterogeneous Mobility Users,” *IEEE Transactions on Communications*, vol. 69, no. 5, pp. 3147-3161, May 2021.

【6】 [https://www.eecis.udel.edu/~xxia/modulations\\_beyond\\_5G.pdf](https://www.eecis.udel.edu/~xxia/modulations_beyond_5G.pdf)

【7】 <https://www.eecis.udel.edu/~xxia/VOFDM.pdf>

【8】 [https://www.eecis.udel.edu/~xxia/VOFDM\\_PPT.pdf](https://www.eecis.udel.edu/~xxia/VOFDM_PPT.pdf)