

无线通信与联合网络编码技术

网络编码是指在网络中继节点处对网络信息流进行存储转发的基础上实行编码操作，从而提高网络吞吐量，节省网络带宽等。

在无线通信网中，网络编码作为关键技术之一，可以在一定程度上节省网络资源消耗，提高频谱资源利用率，并在有限的频谱资源中尽可能多地传输数据，增加信道的传输容量。

同时无线网络自身一些不同于有线网络的传输特性，也使网络编码带来了新的效益，它可以改善网络性能，结构和协议。

目前，大多数方案都是基于随机线性网络编码，如何在多径衰落这种不利条件下，设计网络编码方案，使其在无线网络中同样有效是一个具有挑战性的问题。

很多国内外学者以及科研机构都致力于对网络编码的研究，从最初的网络信息流到分别与协作分集技术、MIMO 技术相结合的现在。

本文通过从物理层角度对无线网络中网络编码与其他应用技术相联合进行分析，如将其与 MIMO 等相结合，充分利用冗余度，提高系统吞吐量，并根据未来网络的复杂环境阐述了其进一步的研究方向。

1、联合网络编码

随着研究的深入，网络编码的很多优点也逐渐体现出来，如能获得很好的网络吞吐量，均衡网络负载、提升带宽利用率等优势。同时在无线网络中应用网络编码也面临着许多问题，如果将网络编码与其它应用技术相结合，则更能大大提升该应用系统的相关性能。

1.1 网络编码与信道编译码的联合

网络编码同信道的编译码技术相结合的核心思想就是利用网络编码的冗余信息协助信道编码，从而获得好的抗噪性能，达到最大的信道容量；

通过利用中继传输的冗余度来获得分集增益。基于 Turbo 码和 LDPC 码的联合编码已经被广泛研究，并在多址中继信道、时分复用双向中继信道[和 BSC 中与传统的网络编码方案进行了比较，充分显示了联合编码在能量消耗、信道容量、误码率等方面的优势，有效降低了编码复杂度以及由信道噪声带来的失真。

1.2 网络编码与协作分集技术的联合

协作分集技术，即在多用户环境下，每个天线用户在发送自身信息时也为其协作伙伴发送信息，通过节点间的协作，形成虚拟天线系统，以获得较大的分集

增益，克服无线信道衰落。

另外，在协作分集的基础上进行网络编码可以同时获得分集增益和网络编码增益。在协作传输过程中，通过在信源节点和终端节点放置中继可进一步提高数据传输速率，改善无线通信系统抗衰落性能，提高资源效率和系统容量。

协作网络编码是当前无线移动通信系统的研究热点之一，特别是基于物理层网络编码的无线协作通信系统，对于双信源、双信宿无线通信系统，假设信源 S_1 和 S_2 都要将各自的信息广播到两个信宿 d_1 和 d_2 。

由于发射功率的限制， d_1 将超出 S_1 的传输范围， S_1 和 S_2 将通过共享的中继来实现传输范围的扩大。在传统协作中继系统中由于要保证信号在正交信道上能够传输，完成这一过程需要 4 个时隙，而采用无线网络编码后仅需要 2 个时隙。分别为：

(1) 将信号广播至 d_1 ；同时将其信号广播至 R 和 d_2 ；

(2) R 对二者叠加信号进行物理层网络编码，并将编码后的信号广播至 d_1 和 d_2 。由于 d_1 在第 1 个时隙已经接收到 S_1 广播的信息，因此，在第 2 个时隙结束时， d_1 可以从编码后的信号中提取到的信息。此方案充分利用了网络资源和分集技术，可获得相对较低的错误概率、中断概率，以及较高的编码增益。

因此，采用物理层网络编码的协作中继系统可以降低传输时间损耗，使数据在衰落信道中更好地传输。

1.3 网络编码与 MIMO 技术的联合

MIMO 技术利用在发射端和接收端均采用多天线、多通道来获得高分集增益以改善信道的多径衰落特性，以及提高系统容量、频谱利用率和数据传输速率；通常情况下，多径会引起衰落，致使数据包丢失。对于 MIMO 系统，多输入多输出技术通过利用空间分集来解决这一问题。

因为多人多出是针对多径无线信道来说的，传输信息流经过空时编码形成 M 个信息子流，由 M 个天线发射出去，经空间信道后由 N 个接收天线接收。在接收端通过检测译码，将接收到的符号矢量利用空时编码处理，并解码这些数据。

这两种技术的最终目的都是从接收到的符号矢量中恢复出原始信息，为了能够充分利用 MIMO 技术的分集特性和在传统网络编码中并没有利用到的冗余信息，将网络编码和 MIMO 技术相结合（MIMO—NC）。

最大程度的将收到的信息传递给译码器，降低丢包率，完成检测译码过程，获得高信噪比增益。MIMO—NC 方案的编码过程：由信源发出的信息，经过信道编码输出信息单元，这些由每个节点生成的信息单元被存入缓存器中，然后对其进行网络编码，产生编码包，并用 G 表示，最后经过转换调制将相应波

形通过无线信道传输出去。

译码过程：在接收端将收到的数据包进行信道估计，并从其头部提取出网络编码系数，如果头部损坏就丢弃；反之，则把所有数据包存在缓存器中，并更新网络估计矩阵。

为了在接收端正确获得信源的发送信息，节点存储器中至少要有等量的独立的原始数据包，这样才能解出编码方程 $D: GX$ ，若少于要求数，则终端正确恢复原始信息的概率会很低。所以当能够进行译码时，节点开始检测接收到的数据包数目，同时确定中继节点数，最后通过软译码：案恢复出原始信息。

同样为了获得高分集增益，在编码阶段可以在发送端采取用两个网络编码器的方法，这样就有两个网络编码矩阵 $G1$ 和 $G2$ ，头部存储编码系数，并且编码相同的信息。

此时的编码增益会明显提高，但是以传输速率的降低为代价，而在译码过程中采用自适 MIMO-NC 技术，就是为了改善传输速率，降低错误概率，但同时复杂度有所增加。具体的编译码流程如图所示： $x \cdots$ 指的是经信道编码后的信息单元，为每个编码包的头部包含的编码系数， $\{b_n, b_{椰}\}$ 指的是 Galois[~]号所对应的调制后的矢量 s 。 $\cdots Y$ 指的是在不同时间接收端收到的来自不同信源的编码包。

在传统的网络编码中，每个数据包的解调过程和提取 NC 系数过程都是分开进行的，其在译码阶段仅用来成功地接收数据包，因此限制了从不同节点接收相同信息的优势。MIMO_NC 会利用已破损的 CP，将所有收到的信息传递给译码器，充分利用冗余信息，改善其性能。

2、进一步的研究方向

现在网络编码的研究已经走向多元化，实用化。在 LTE-A 中通过采用 MIMO 分集技术，来抑制多径衰落；改善信道特性，提高系统性能。

新一代无线通信网的网络架构是复杂的、多变的，其不仅体现在网络层次、基本构架方面，也体现在复杂的无线场景、传播环境和混合的无线小区结构上等。如何能在这样的环境下进一步满足提高系统的吞吐量、信道容量，降低误码率等要求，是目前的研究热点。因此在以后的研究过程中我们可以考虑以下几方面：

(1) 网络编码是一种协作通信的模式口，与其他技术相结合可以优化网络性能，在各种无线传播环境下，充分结合多输入多输出天线技术，研究对网络中数据流传输的影响。研究基于协作分集技术的物理层网络编码和信道编码的联合设计方案，以及基于网络编码的数据传输，研究低复杂度、低时延的网络编码算法。

(2) 在实际无线通信网络中，信道往往是频率选择性衰落的，这种环境下 MIMO 网络编码的性能分析也是很值得研究的。除了理论研究 MIMO 网络编码技术

外, 还需要考虑实际的场景, 以解决应用过程中遇到的各种问题, 如编译码复杂度、延时问题对系统性能的影响问题, 系统效率、编码效率和鲁棒性的提高问题等。

3、结语

网络编码技术在无线网络中起到了重要的作用, 同时具有很广阔的应用前景。由于无线通信网中信道的固有特性, 在物理层进行网络编码并结合一些相关的检测技术、纠错编码技术、MIMO 技术, 与传统的网络编码方式相比, 能获得更好的系统性能。本文主要介绍了网络编码分别与协作分集技术和 MIMO 技术相联合的方案及研究进展, 并提出了有待进一步研究的方向。