

Heterogeneous Packet Translation for Cross-Technology Communication

跨技术通信中的异构数据包翻译

何灏, 吴琪欢, 袁烁, 顾子茵, 于志鹏, 朱庆猛

In ICASSP 2025-2025 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP 2025), Hyderabad, India. IEEE, 2025: 1-5. 20250406-0411.

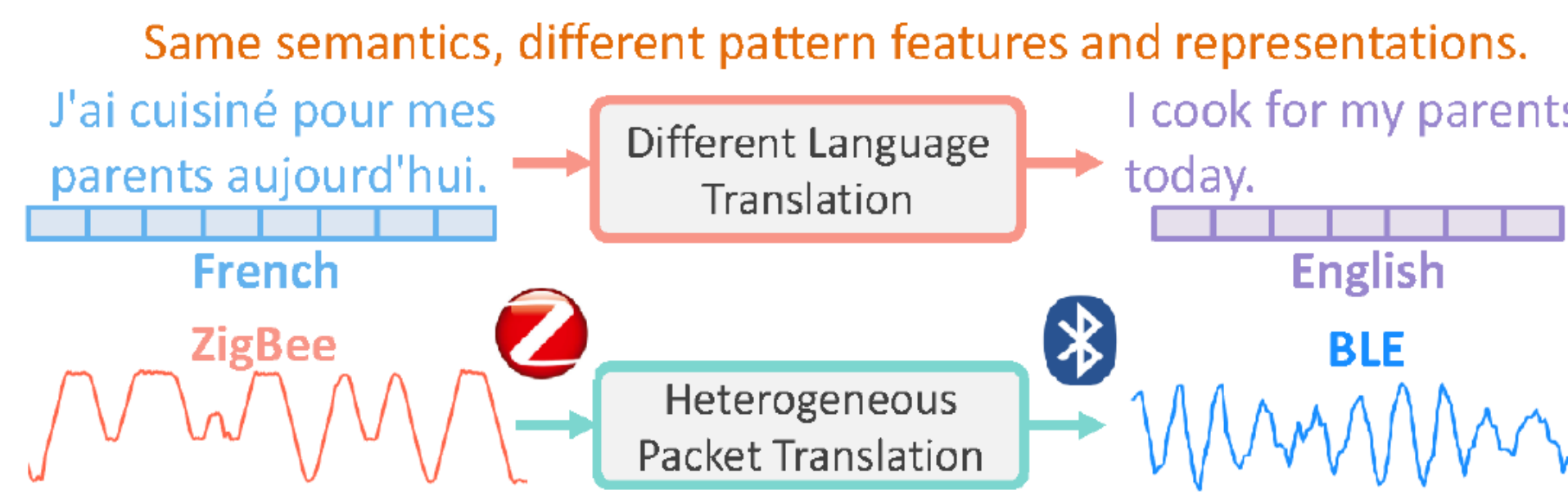
Contact Email: hehao21@iscas.ac.cn

背景介绍

根据Statista估计, 2025年全世界将有超过700亿台物联网设备, 这些无线设备多通过开放频段(比如ISM频段)进行通信, 包括: WiFi, ZigBee, 蓝牙和LTE-U等, 由于标准、设计和设备的不同, 不但难以互联互通, 还有可能相互影响和干扰, 这些异构无线设备之间的交互是一个很大的挑战。

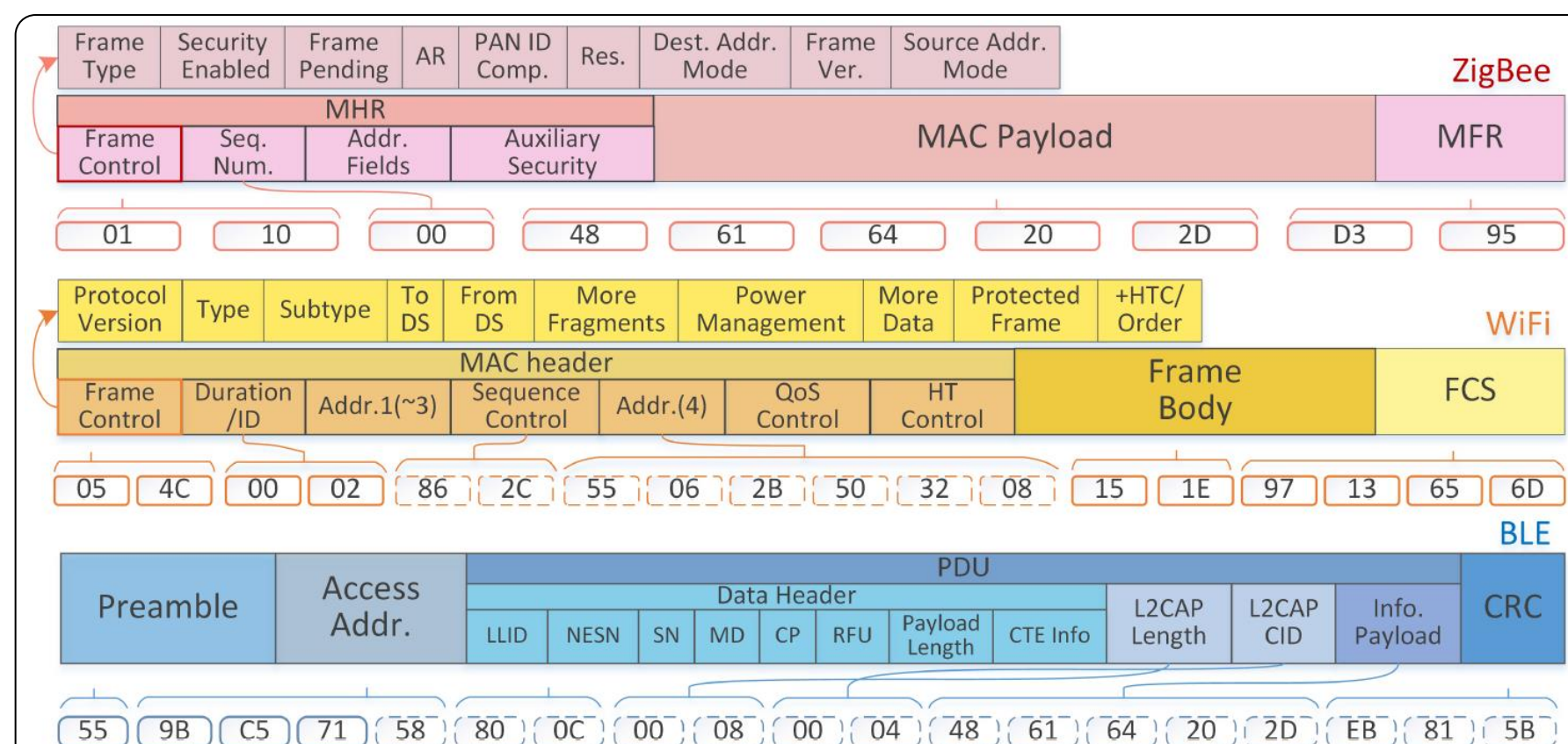
传统解决方案要么需要支持不同协议的网关设备, 成本高昂, 还增加了系统复杂度和故障概率; 要么需要研究特定异构无线技术之间的跨技术通信方法, 面临着实用性、通用性和适应性等一系列问题。

基本思想



通信的目的是让两个设备精确地相互理解发送数据包的语义。为了在两个不同的异构无线设备之间传递信息, 它们的数据包可能包含相同的语义, 但具有不同的模式特征和表示, 与机器翻译思想类似。

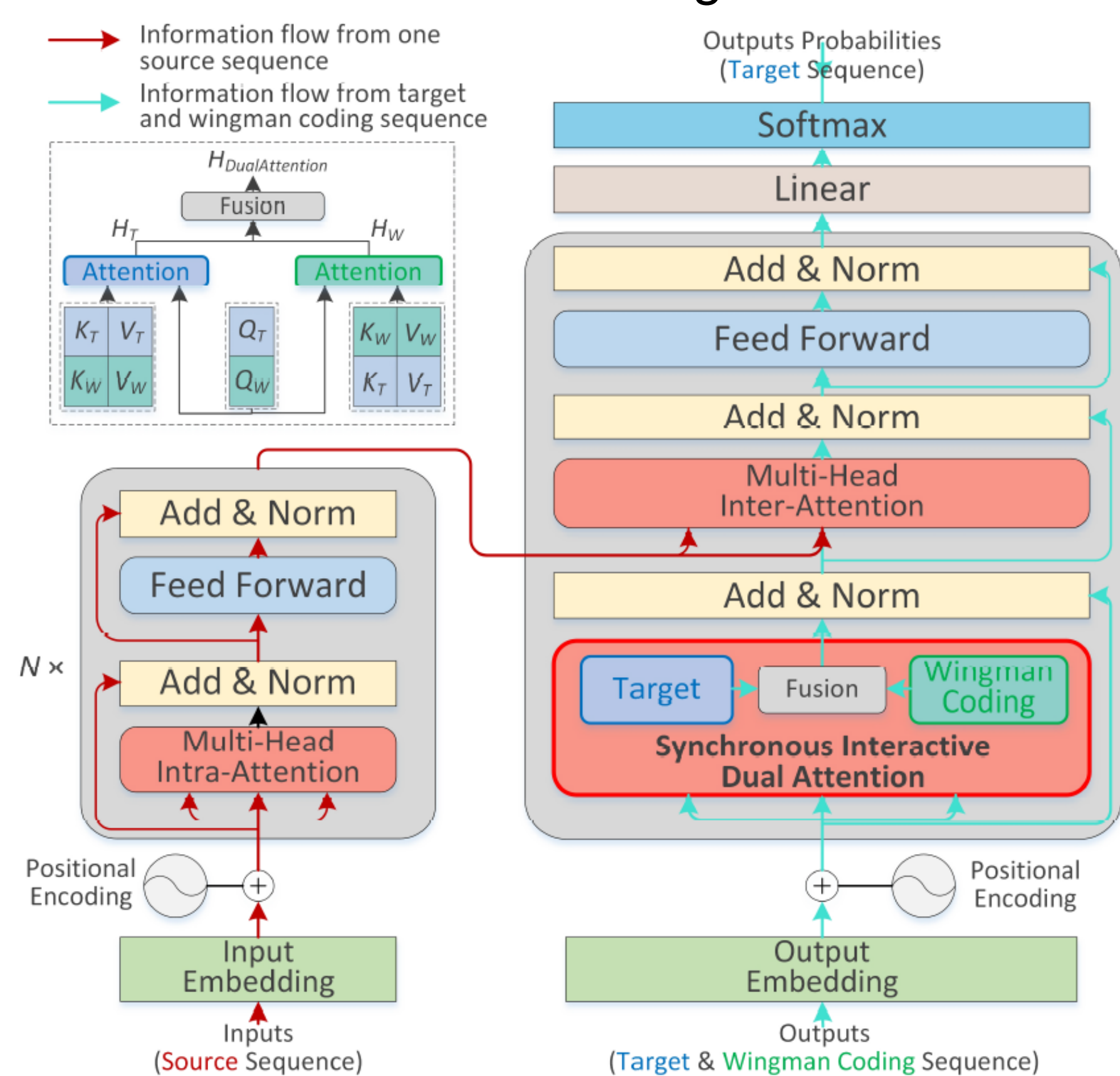
方法设计



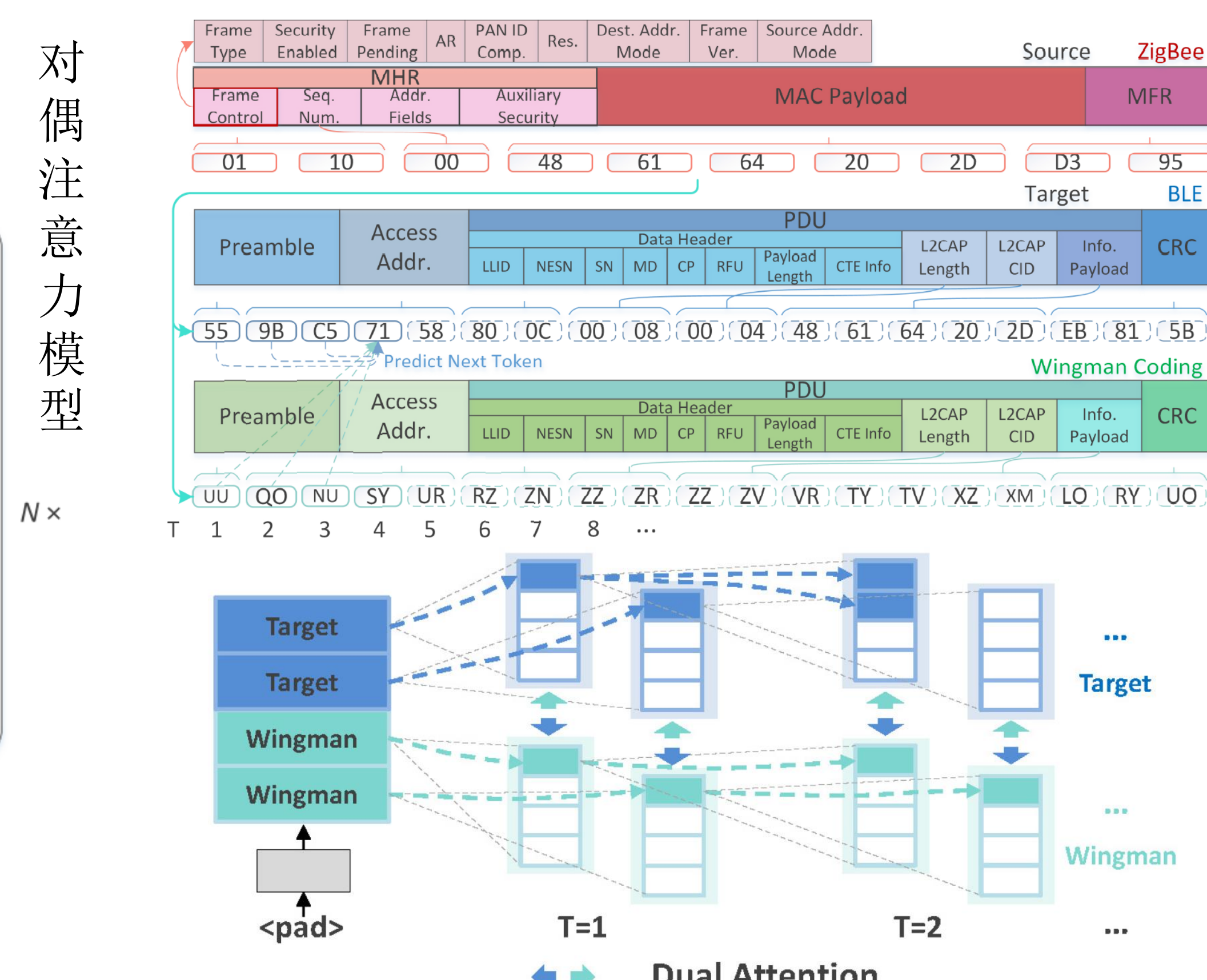
数据集构建: 为了验证数据包翻译的可行性, 本文首先根据IEEE 802.11和IEEE 802.15.4等标准构建了WiFi, ZigBee, BLE的平行数据包作为训练和测试数据集。

该数据集构建了包含CRC校验位的版本和未包含CRC校验位的版本, 覆盖不同有效载荷长度(0-9个字节、10-19个字节、20-29个字节、30-39个字节、40-49个字节)的数据包长度。基于所构建平行数据包开展不同异构数据包之间翻译的验证工作, 使用标准编码器-解码器架构模型进行训练和测试实验。

解码方法设计: 由于自回归解码方式存在的“曝光偏差”问题, 序列生成过程中的误差累计会导致序列越长越容易出错, 为了降低长数据包的翻译错误率, 更准确预测数据包中的下一个符号, 本文提出交互式数据包解码方法HPT, 包括Wingman编码设计、同步交互式解码和对偶注意力模型。



对偶注意力模型



Wingman编码设计

同步交互式解码

Wingman编码旨在解码过程中为目标序列提供额外信息; 交互式解码技术支持在同步解码目标序列和Wingman编码序列。为了配合同步交互式解码工作, 本文引入对偶注意力模块, 在预测下一个符号时能够同时参考目标序列和Wingman编码序列, 使得在推理长序列时具有更好的表现。

实验分析

Direction	Payload Length					AVE
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	
B2Z	99.87	99.87	99.49	98.94	98.25	99.28
Z2B	99.92	99.93	99.56	98.89	98.36	99.33
Z2W	99.86	99.89	99.48	98.97	98.32	99.30
W2Z	99.95	99.94	99.60	99.31	99.05	99.57
B2W	99.79	99.73	99.41	98.82	98.21	99.19
W2B	99.83	99.72	99.55	99.01	98.37	99.30

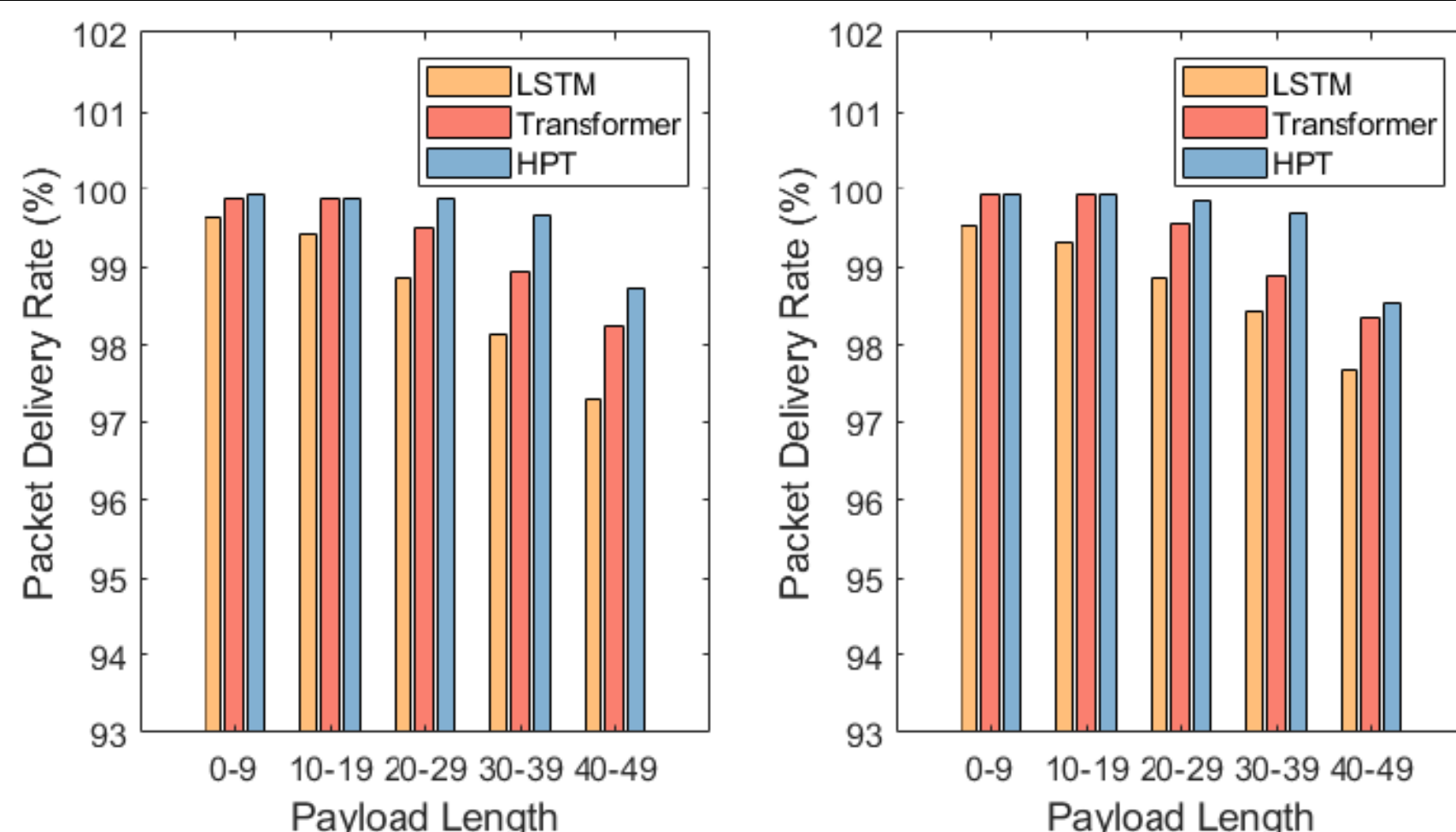
不同方向异构数据包翻译原理验证实验

Method	Payload Length					AVE
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	
LSTM	99.63	99.41	98.85	98.13	97.32	98.67
Transformer	99.87	99.87	99.49	98.94	98.25	99.28
Transformer+M	99.91	99.91	99.69	99.21	98.46	99.44
HPT-history	99.42	99.79	99.73	99.55	98.59	99.42
HPT-history+M	99.92	99.87	99.88	99.65	98.74	99.61
HPT-future	99.23	99.79	99.74	99.49	98.43	99.47
HPT-future+M	99.63	99.85	99.88	99.68	98.65	99.54

BLE到ZigBee数据包翻译准确率

Method	Payload Length					AVE
	0-9	10-19	20-29	30-39	40-49	
LSTM	99.52	99.32	98.85	98.43	97.68	98.76
Transformer	99.92	99.93	99.56	98.89	98.36	99.33
Transformer+M	99.94	99.94	99.67	99.17	98.49	99.44
HPT-history	99.64	99.79	99.85	99.48	98.36	99.42
HPT-history+M	99.94	99.93	99.85	99.68	98.53	99.59
HPT-future	99.46	99.75	99.83	99.44	98.20	99.34
HPT-future+M	99.57	99.82	99.85	99.63	98.42	99.46

ZigBee到BLE数据包翻译准确率



(a) BLE to ZigBee

(b) ZigBee to BLE

双向翻译性能测试: HPT方法在两个方向上均表现良好。在BLE到ZigBee方向, 短数据包(0-9字节)达到100%传输成功率, 即使是较长数据包(40-49字节)也保持98.8%以上; 在ZigBee到BLE方向, 性能同样稳定, 证明了双向翻译的对称性。相比之下, 传统LSTM在长数据包场景下性能下降明显, Transformer虽有改善但仍不及HPT。

翻译准确率分析: HPT-history+M(结合历史信息 and 掩码机制)达到99.59%的平均准确率, 比基础LSTM提高0.83%。

总体而言, 所提出的HPT在不同数据包长度上表现良好, 特别是在较长数据包长度下表现更好。