

图模型协作译码检测及其超高速LiFi物联网应用

学术论坛报告

报告人：包建荣

杭州电子科技大学信息工程学院

二零一七年十月十四日·杭州

汇报内容

1 应用背景与研究思路

2 图模型协作译码检测

3 超高速LiFi-IoT应用

4 发展趋势与工作总结

应用背景

以物联网传输工程需求及未来近空探测、遥感、应急通信等高速数传为研究背景，面向IoT通信基本科学问题，系统研究若干自有知识产权的**高效传输**基础应用技术，实现能量受限条件下无线探测数据和测控指令的**可靠协同传输**。

三个层次的研究

- **基础理论：** 能量受限系统传输资源优化
- **关键技术：** 编码、解调/检测、多中继技术
- **演示验证：** 关键技术性能仿真验证平台

物联网无线通信核心问题

能量受限 → 需有效提高系统功率效率！

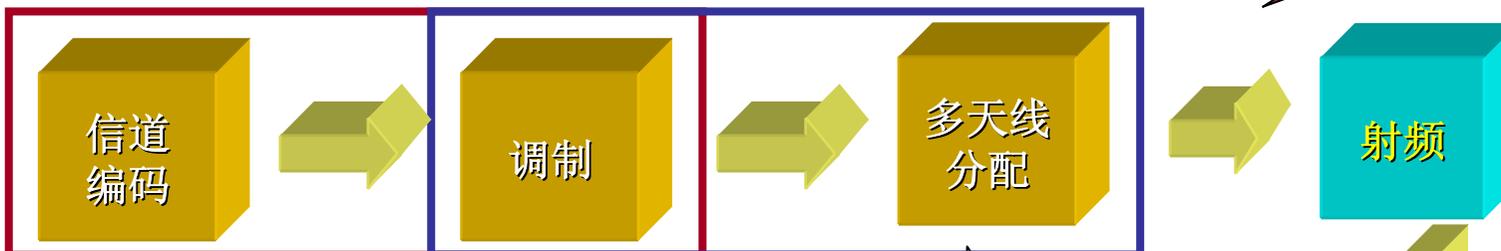
— 每单位功率传送的有效信息量 → 高增益编码(核心)

- **数据完整性** → 实时可靠的信号传输机制
- **低信噪比传输** → 容忍极低解调工作门限
- **高动态多普勒** → 实时精确载波捕获与跟踪
- **低仰角等多径** → 实时准确信道估计
- **超远/非视距通信** → 多天线多中继协同处理支持

本项目核心问题

无线通信
发射端

物理层



高效LDPC
编码构造

联合编
码调制

多天线
预编码



物理层



无线通信
接收端

多天线多中继
协同检测

高效信道估
计与解调

高效LDPC译码及
迭代信号处理技术

IoT研究思路

- **数据完整性** → 实时可靠的信号传输机制
 - 立体稀疏原模图LDPC编码
- **低信噪比传输** → 容忍极低解调工作门限
- **高动态多普勒** → 实时精确载波捕获与跟踪
 - {上述两项任务合并}迭代同步和信噪比参数估计
- **低仰角等多径** → 实时准确信道估计
 - 频谱认知与稀疏概率迭代信道估计
- **超远/非视距通信** → 多天线多中继协同信息处理
 - 多天线协作预编码及协同信号传输

汇报内容

1 应用背景与研究思路

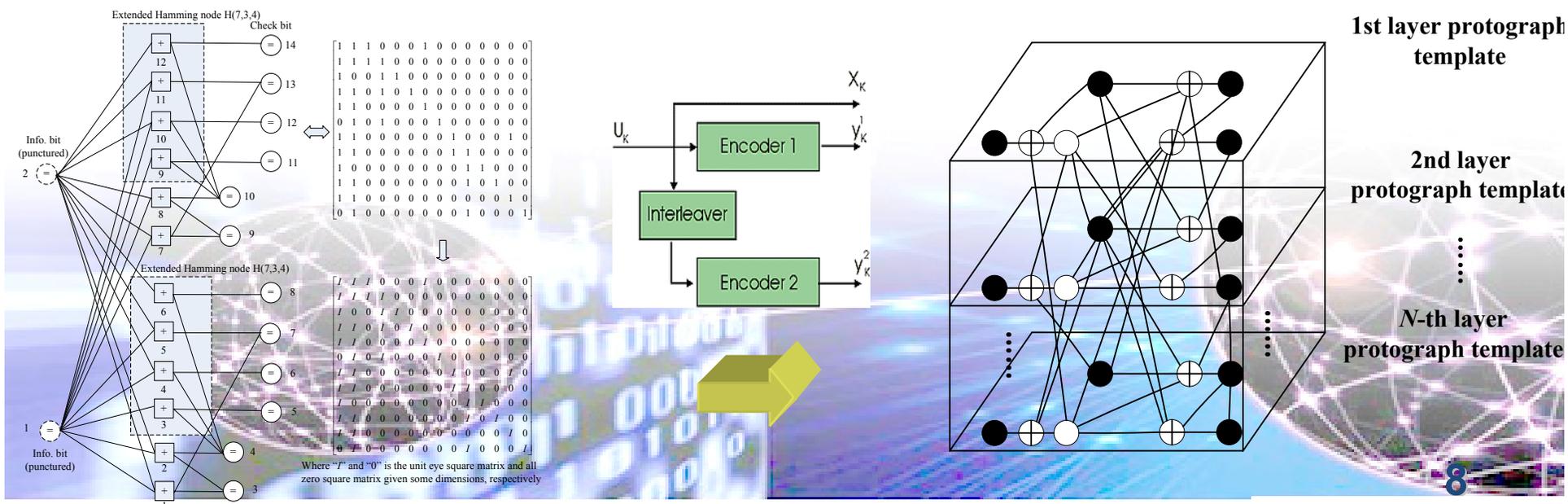
2 图模型协作译码检测

3 超高速LiFi-IoT应用

4 发展趋势与工作总结

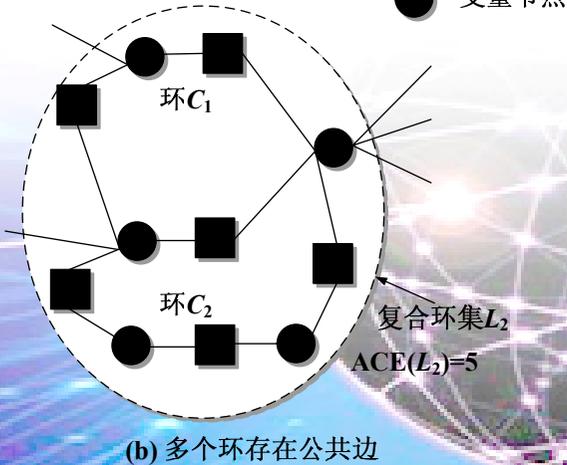
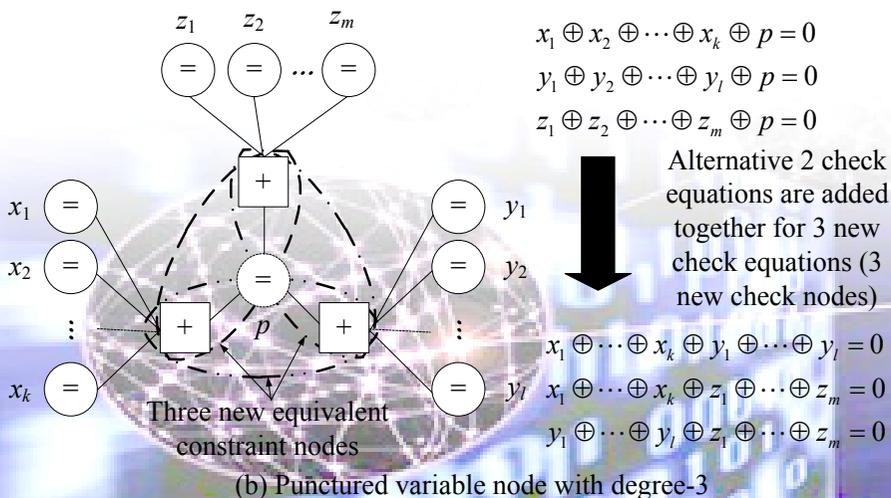
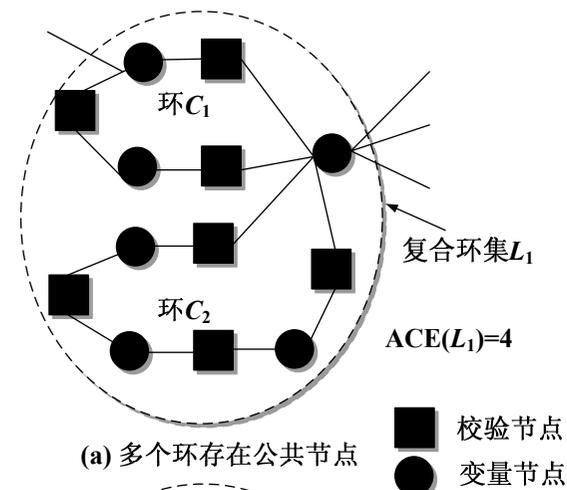
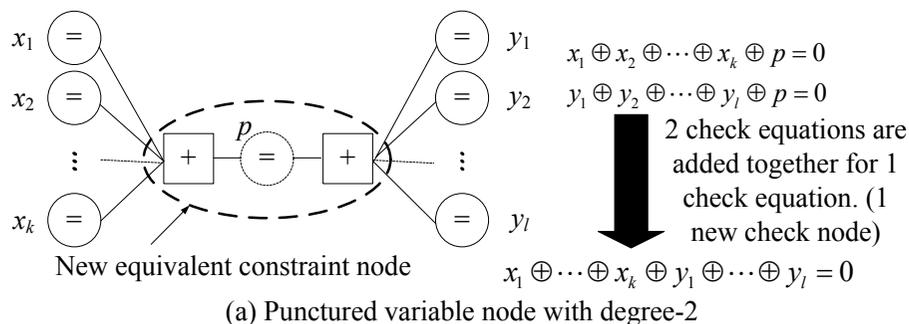
研究进展1: 稀疏原模图G-LDPC编码构造(1)

- IoT通信LDPC码优化构造及评价准则 (CCSDS标准规范)
 - 性能增益: AWGN 7.6dB+@1e-5; Turbo/LDPC-CCSDS 约0.2dB@1e-5
 - 编码复杂度: 仅存储系数首行比特, 仅用比特累加器即可实现
 - 译码器特点: 并行可重构结构, 快速访问校验信息
- 原模图模板立体稀疏扩展及环优化构造法



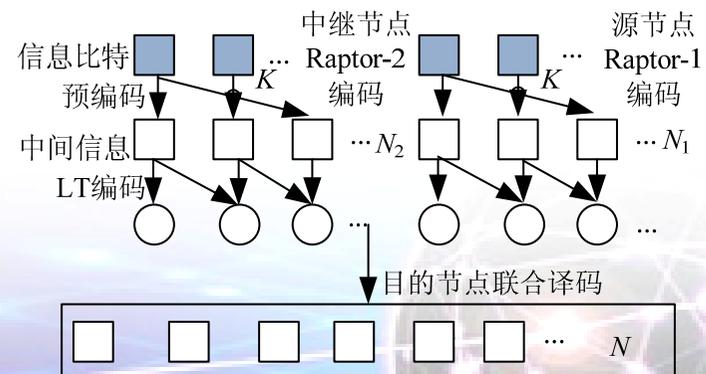
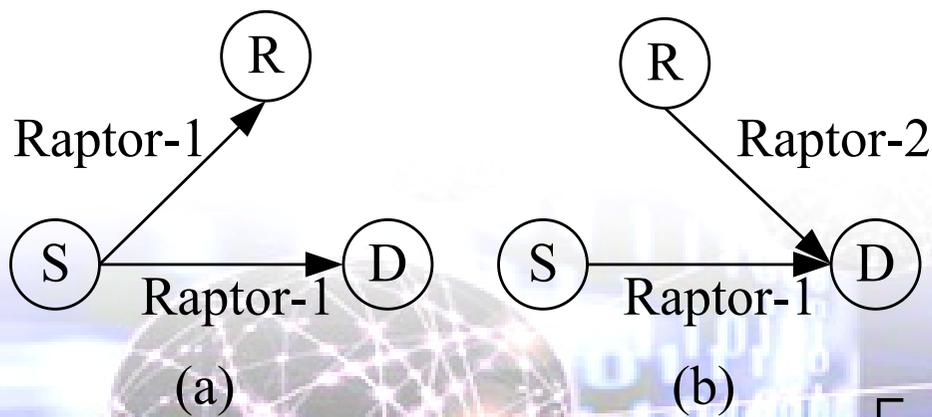
研究进展1： 稀疏原模图G-LDPC编码构造(2)

- 稀疏图模型下的编码构造改进 (1节点删除 2近似环外消息度ACE优化)



研究进展2: LDPC预编码Raptor编码协作(1)

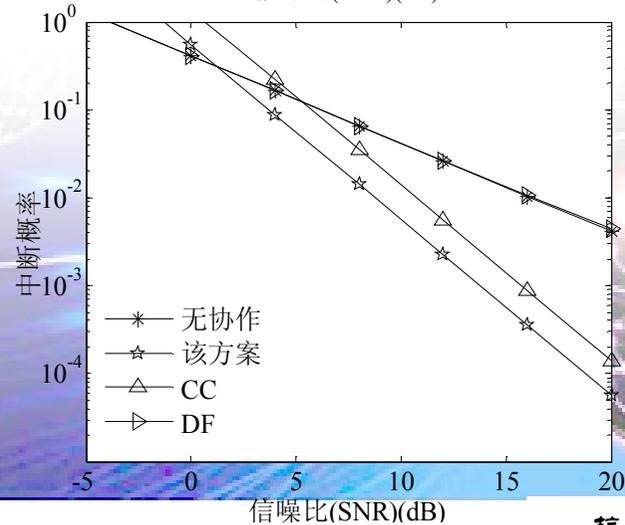
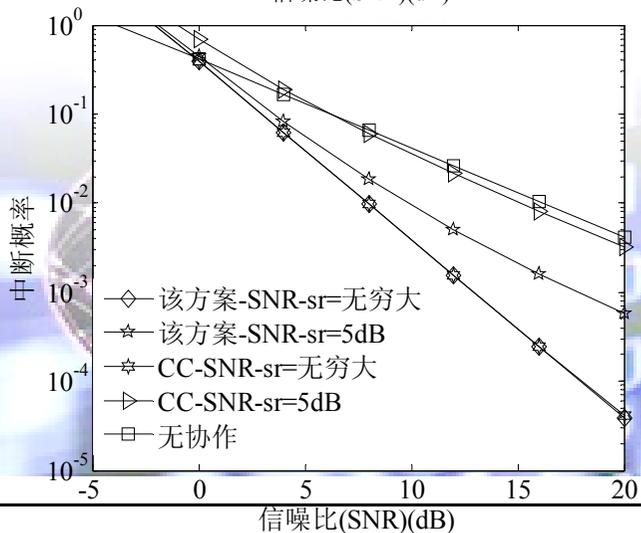
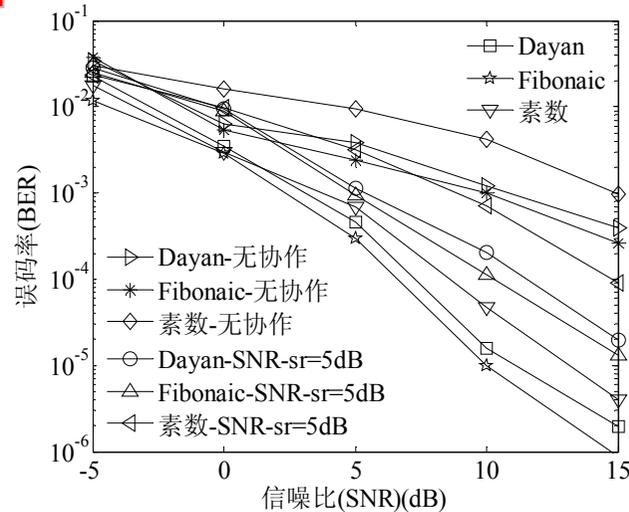
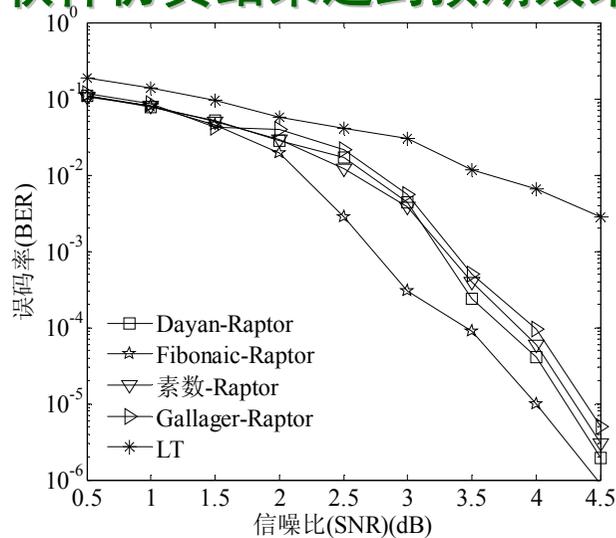
- IoT通信LDPC码优化构造及评价准则 (CCSDS标准)
 - 性能: 较结合DF, DSTBC的Raptor分别提高2, 1dB @ BER=10⁻⁴
 - 创新点: 源和中继使用不同Raptor码, 使后者包含校验信息, 在接收端获得独立码字, 且根据校验关系联合译码, 获分集增益
 - 特点: 预编码采用整数序列构造的QC-LDPC, 复杂度较低
- Raptor码扩展构造方法及认知协作传输



$$GH^T = \begin{bmatrix} G_1 & G_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H_1^T \\ H_2^T \end{bmatrix} = [G_1 H_1^T + G_2 H_2^T] = 0$$

研究进展2: LDPC预编码Raptor编码协作(2)

- 软件仿真结果达到预期效果[1, 2, S1]



研究进展3: 迭代同步等解调参数估计(1)

- 低信噪比下的解调参数估计与恢复(迭代载波同步等)
 - 性能: 距理想误码性能0.1dB@1E-5以内, 接近检测理论限
 - 创新点: 提出新的软信息代价函数; 近似梯度更新减少计算量
 - 特点: 译码结构上增加了少量解调参数更新, 复杂度较低
- 二阶段迭代载波恢复算法
 - 最大化LDPC软信息平方的和为判决准则, 对载波频采用近似最陡梯度下降算法搜索, 得到较准确载波估计并补偿
 - 采用LDPC软信息辅助Costas环, 纠正残留载波偏差

$$\begin{aligned} \psi(\Delta f, \theta) &= \sum_{i=1}^N |L[Q_i^{(l)}|\Delta f, \theta]|^2 \\ &= \sum_{i=1}^N |L(c_i|\Delta f, \theta) + \sum_{j \in M(i)} L(r_{ji}|\Delta f, \theta)|^2 \end{aligned}$$

$$(\Delta f_{opt}, \theta_{opt}) = \underset{\substack{\Delta f \in \text{Freq. region} \\ \theta \in [-\pi/2, \pi/2]}}{\arg \max} [\psi(\Delta f, \theta)]$$

$$\frac{\partial \psi(\Delta f, \theta)}{\partial (\Delta f)} \approx K_1 \sum_{i=1}^N |L[Q_i^{(l)}|\Delta f, \theta]| \cdot i \cdot \text{sgn}(\Delta f),$$

$$\frac{\partial \psi(\Delta f, \theta)}{\partial \theta} \approx K_2 \sum_{i=1}^N |L[Q_i^{(l)}|\Delta f, \theta]| \cdot \text{sgn}(\theta),$$

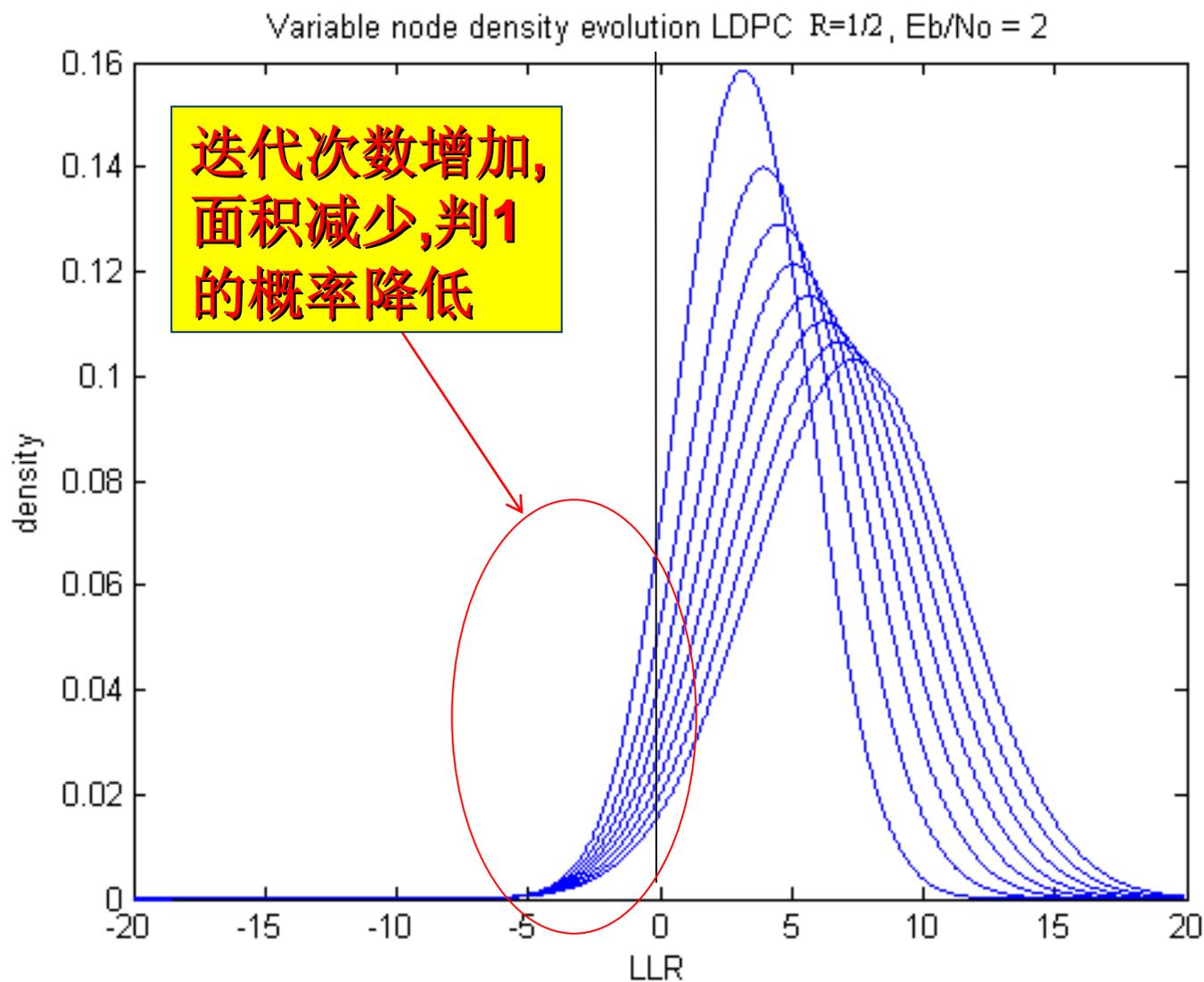
$$\Delta f^{(n+1)} = \Delta f^{(n)} - \lambda_1 [\partial \psi(\Delta f, \theta) / \partial (\Delta f)]^{(n)},$$

$$\theta^{(n+1)} = \theta^{(n)} - \lambda_2 [\partial \psi(\Delta f, \theta) / \partial \theta]^{(n)},$$

2. 图模型协作译码检测

研究进展3: 迭代同步等解调参数估计(2)

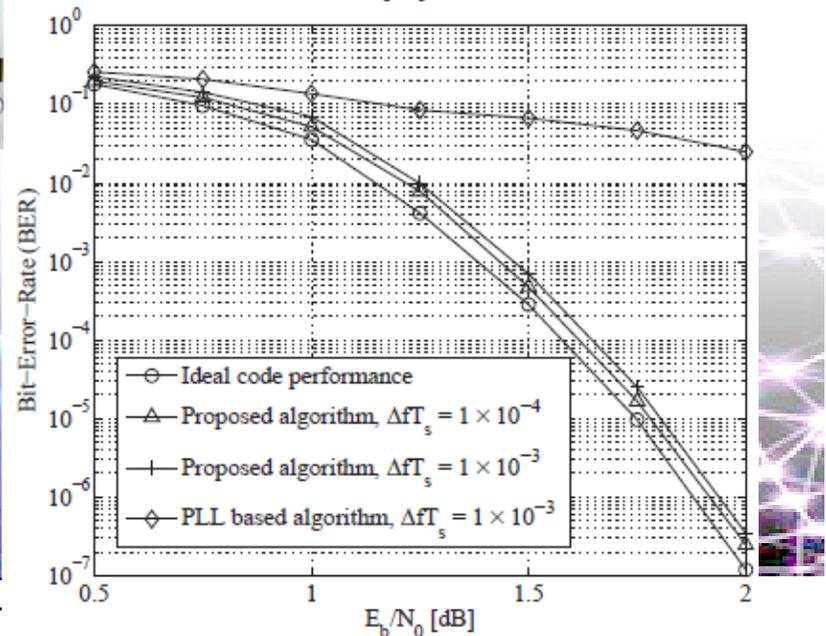
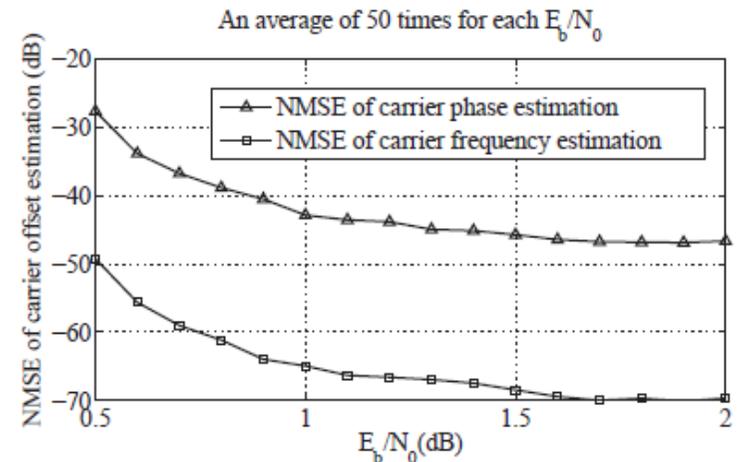
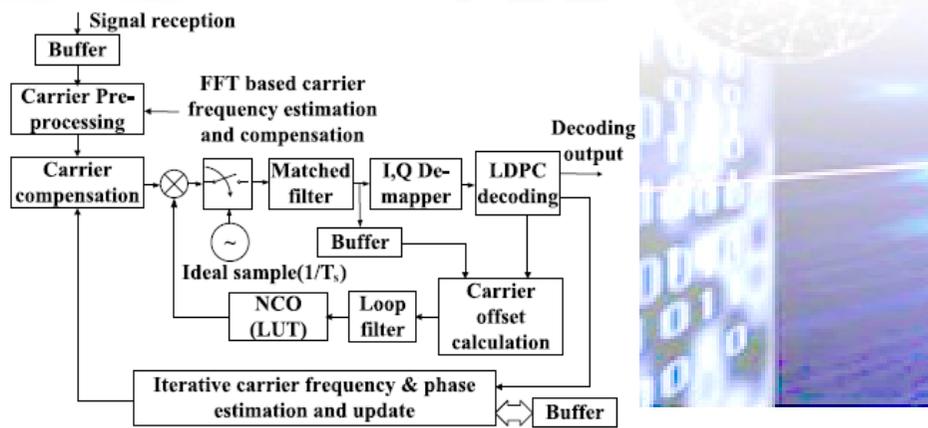
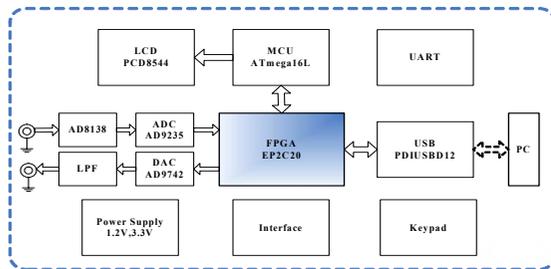
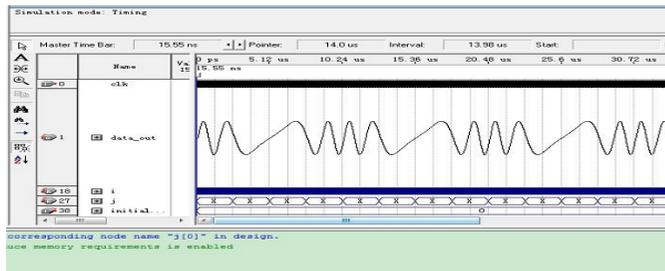
- 迭



2. 图模型协作译码检测

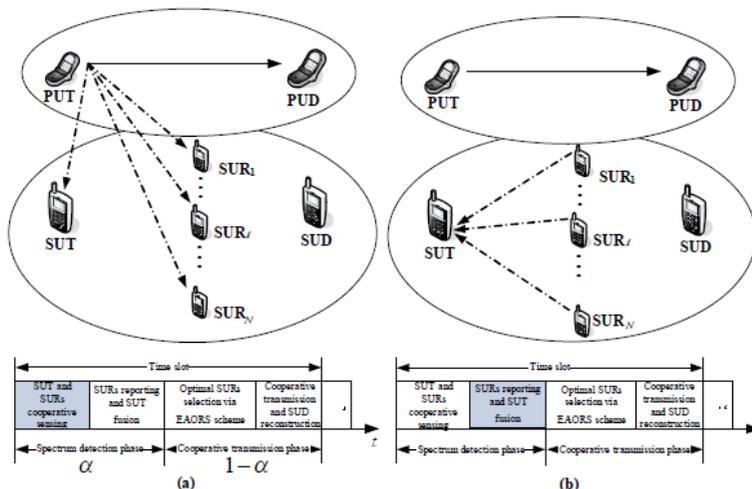
研究进展3: 迭代同步等解调参数估计 (3)

- 软硬件仿真结果达到预期效果 [3, P1]



研究进展4： 基于稀疏概率图的迭代信道估计(1)

- 基于能效的误比特率约束最优认知中继选择 (频谱认知等)
 - 性能: SNR范围: 0-20dB, 感知开销: 0.2, 0.5, 信道错误率: 10^{-3} 或 10^{-4}
 - 创新点: 构造能耗目标凸函数; 协作频谱感知及权衡准确度与能耗
 - 特点: 优于现有压缩感知能效协作检测
- 能量感知的最优中继选择
 - 加权优化目标函数考虑频谱感知与协作传输能耗, 以决定优化中继数量
 - 权衡检测准确度和能效, 构造中继数量和全局误检测概率目标凸函数

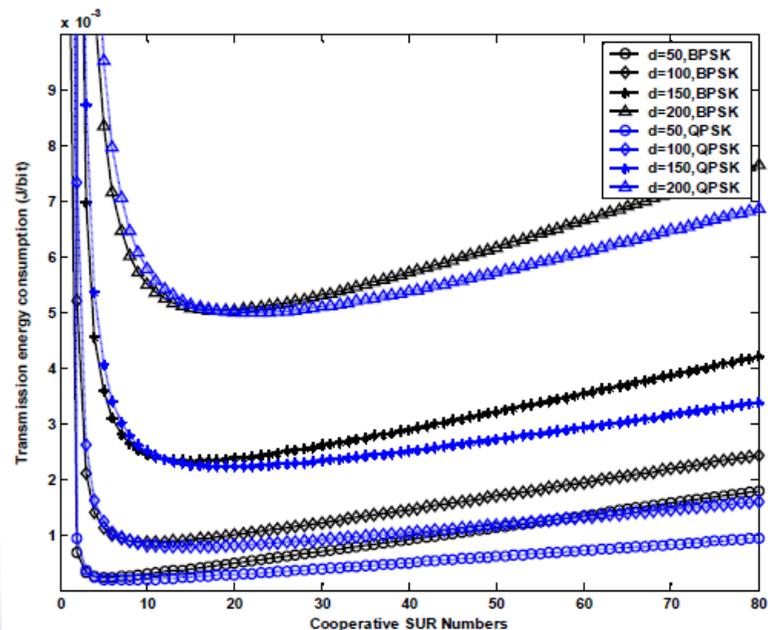
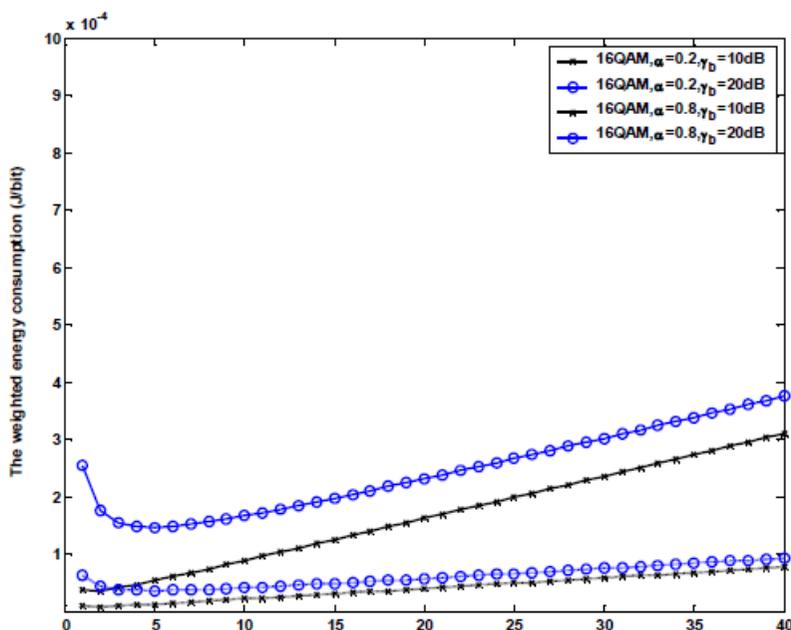


$$\begin{cases} \min_N E(N), \\ \text{s.t. } Q_m(N) \leq Q_{m,\text{req}}, \\ \Pr_b(N, \gamma_b) \leq \Pr_{b,\text{req}}, \quad N > 0 \end{cases}$$

$$E_{\text{MPSK}}(N) = \alpha G \left(\frac{N \cdot N_0}{\Pr_e^{\frac{1}{N}}} \right) d_{\text{sensing}}^3 + (1-\alpha) \left(\frac{[(N+1)(P_{ct} + P_{cr})]}{R_b} + G \frac{(N+1)N_0}{\Pr_{b,\text{MPSK}}^{\frac{1}{N+1}}} d_{\text{transmission}}^3 \right)$$

研究进展4： 基于稀疏概率图的迭代信道估计 (2)

- 仿真结果达到预期效果 [4, 5, P2]. (下图分别仿真： 能耗、 加权能耗及感知开销)



NUMERICAL RESULTS OF THE OPTIMAL SUR NUMBERS K WITH DIFFERENT SNR REQUIREMENTS AND SENSING OVERHEADS.

BPSK	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.8$	QPSK	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.8$	16QAM	$\alpha = 0.2$	$\alpha = 0.8$
$\gamma_b = 5\text{dB}$	3	3	$\gamma_b = 5\text{dB}$	4	4	$\gamma_b = 5\text{dB}$	2	2
$\gamma_b = 10\text{dB}$	4	4	$\gamma_b = 10\text{dB}$	6	6	$\gamma_b = 10\text{dB}$	3	3
$\gamma_b = 15\text{dB}$	7	7	$\gamma_b = 15\text{dB}$	9	9	$\gamma_b = 15\text{dB}$	4	4
$\gamma_b = 20\text{dB}$	12	12	$\gamma_b = 20\text{dB}$	15	15	$\gamma_b = 20\text{dB}$	6	6

研究进展5: 多天线协作预编码及协同信号传输(1.1)

- MIMO空间通信格约简TH预编码分析与改进(协作预编码)
 - 性能: 相对现有TH算法: 基于格约简的LLL-MMSE, LLL-ZF算法性能略优
 - 创新点: 改善信道矩阵奇异性, 利用格约简降低复杂度
 - 特点: 相对现有TH算法复杂度降低, 性能不下降
- 低复杂度MIMO协作预编码构造
 - 在TH预编码基础上, 改善信道矩阵奇异性, 得到改进格约简TH预编码

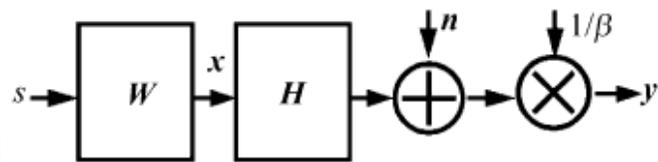


图2 线性预编码结构

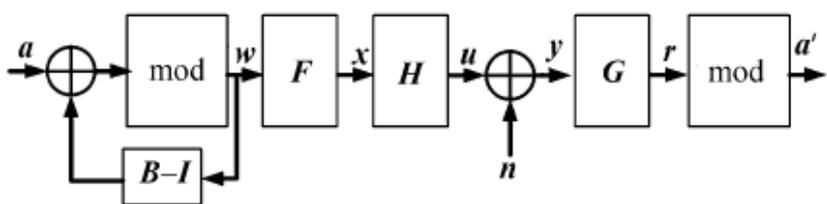


图3 多用户系统 TH 预编码结构

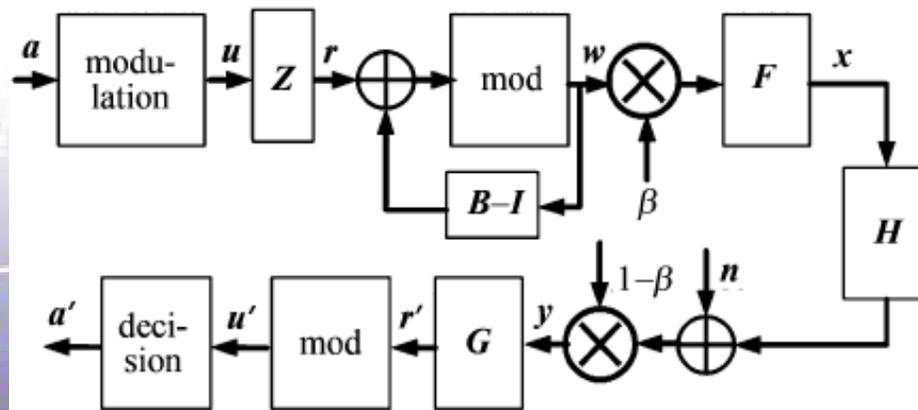


图4 改进的 LLL 格约简 TH 预编码结构

研究进展5: 多天线协作预编码及协同信号传输(1.2)

- 仿真结果达到预期效果 [6]. (下图分别仿真: QPSK, 16QAM, 2×2 , 4×4 MIMO预编码)

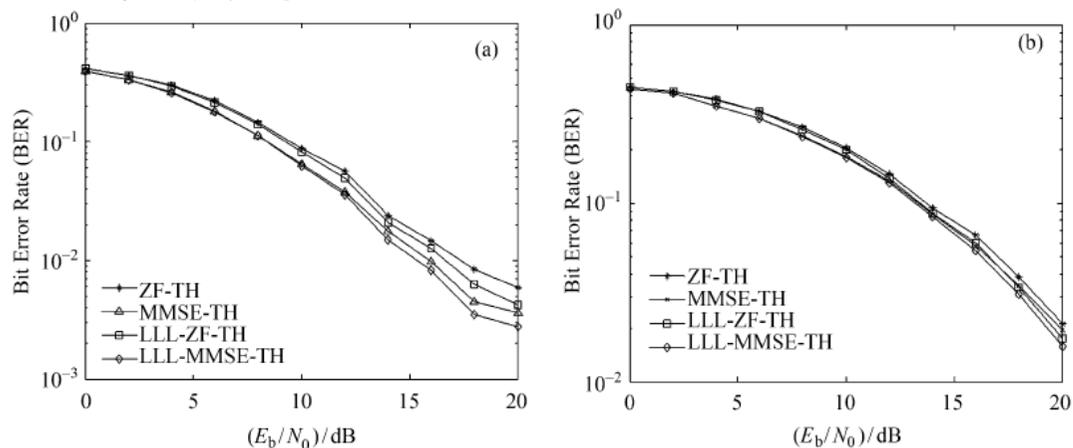


图5 QPSK (a) 及 16QAM (b) 调制的 2×2 MIMO 预编码 BER 性能

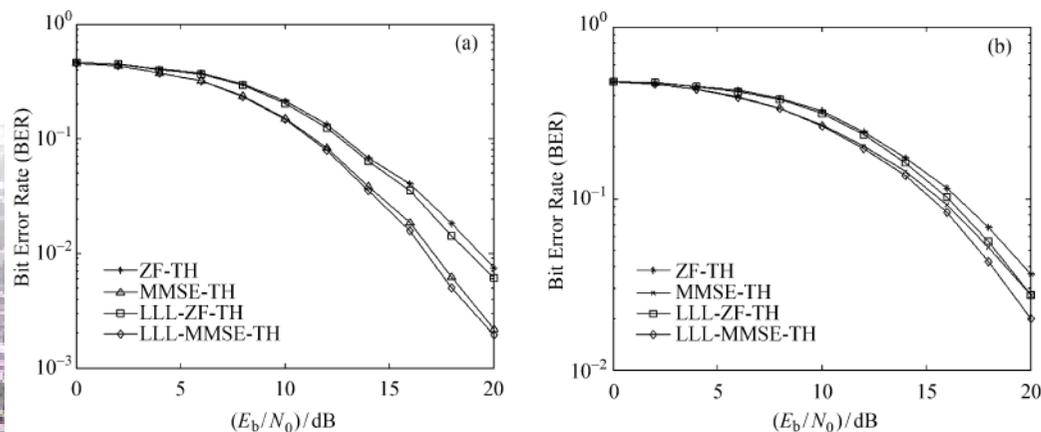
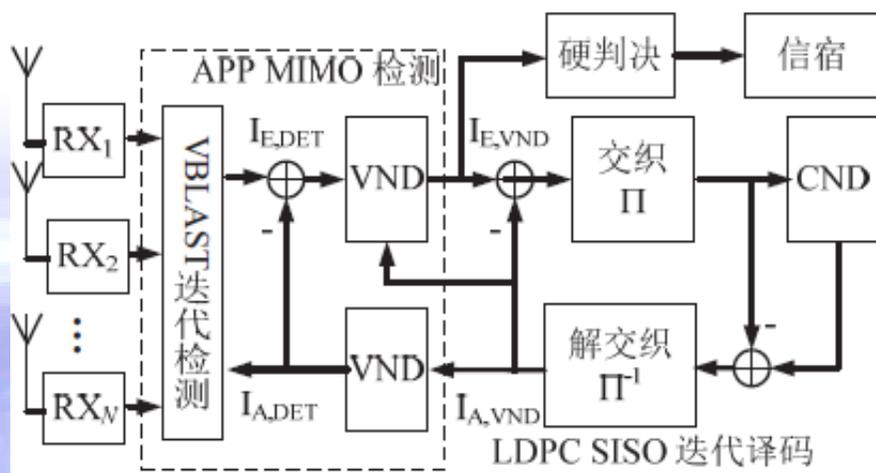


图6 QPSK (a) 及 16QAM (b) 调制的 4×4 MIMO 预编码 BER 性能



研究进展6: 多天线协作预编码及协同信号传输 (2. 1)

- LDPC译码硬判决辅助迭代VBLAST检测 (协同迭代接收)
 - 性能: 微小0.1dB代价, 获得1/2复杂度降低及检测延迟等优势
 - 创新点: 将VBLAST检测和LDPC译码联合迭代, 减少互信息损失
 - 特点: 可有效工作在较低信噪比的多天线协同检测场合
- 低复杂度MIMO-VBLAST检测与译码协同迭代处理
 - 构造协同检测与译码图模型框架, 自适应硬比特检测



a. 参数初始化:

$$G_1 = (H^T H)^{-1} H^T = H^+ \quad (\text{对应 ZF 准则}) \quad (2)$$

$$G_1 = (H^T H + \sigma^2 I_M)^{-1} H^T \quad (\text{对应 MMSE 准则}) \quad (3)$$

式中: H^T 是 H 的共轭转置; H^+ 是 H 的伪逆。

b. 迭代计算过程:

$$k_i = \arg \min_{j=(k_1, k_2, \dots, k_{i-1})} \|(G_i)_j\|^2 \quad (5)$$

式中 $(G_i)_j$ 为矩阵 G_i 的第 j 行。

$$w_k = (G_i)_{k_i} \quad (6)$$

$$y_k = w_k r_i \quad (7)$$

$$\hat{x}_k = R(y_k) \quad (8)$$

式中 $R(\cdot)$ 在 VBLAST 原算法中是硬判决检测结果。在本算法中, 需要对该硬判决检测结果改进。即采用式(13)计算对数似然率, 并在少量联合检测与译码迭代后, 用式(16)硬判, 以降低复杂度。

$$r_{i+1} = r_i - \hat{x}_k H_k^* \quad (9)$$

$$G_i = H_k^* \quad (10)$$

式中 H_k^* 是矩阵 H 除去 k_1 到 k_i 行后的部分。

参数初始化:

$$L(c_i) = \ln \left[\frac{p(x_i = 1 | y_i)}{p(x_i = -1 | y_i)} \right] = \frac{2y_i}{\sigma^2} \quad (12)$$

$$L(q_{ij}) = L(r_{ji}) = 0 \quad (13)$$

迭代过程:

步骤 1: 信息节点更新及最终判断

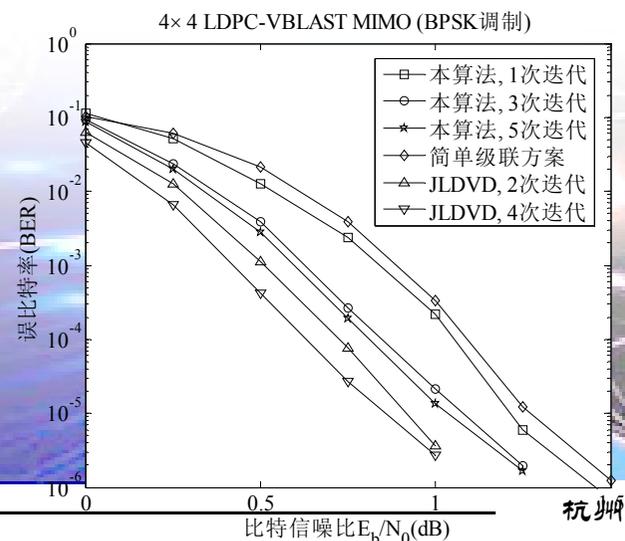
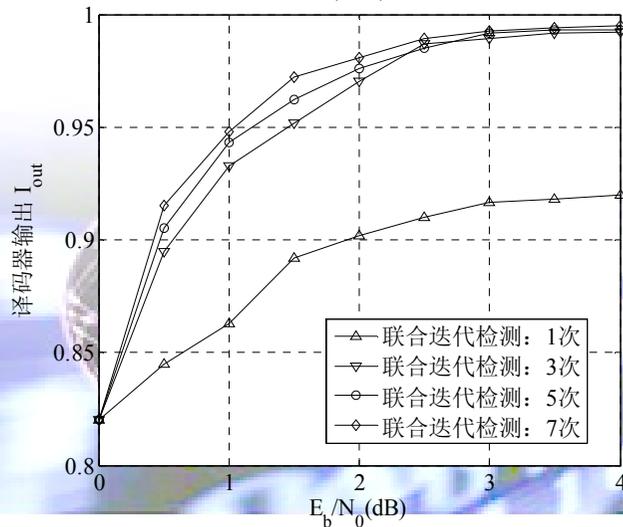
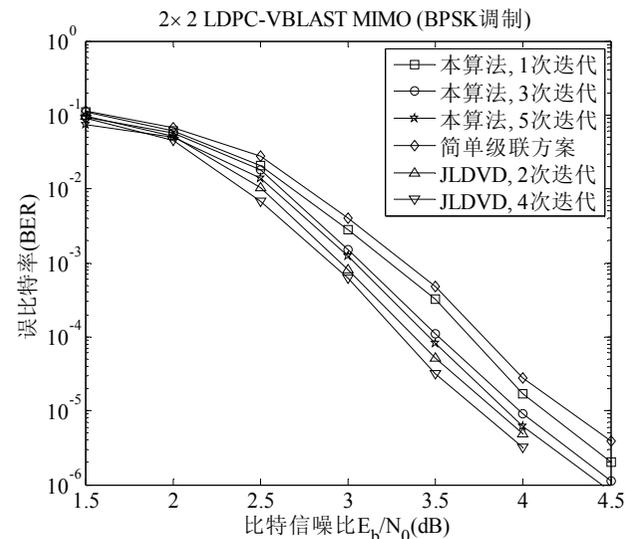
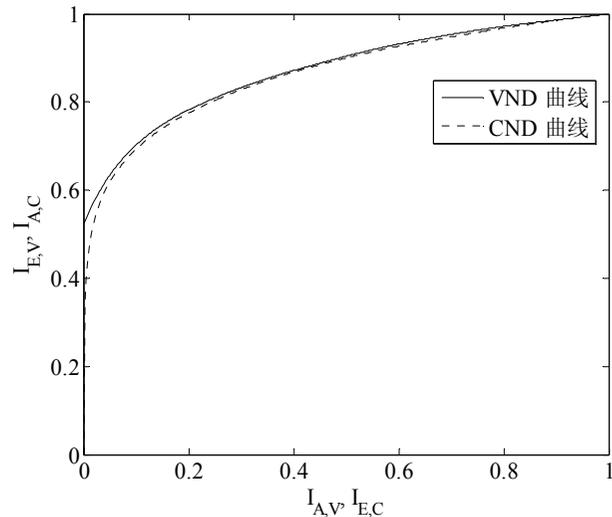
$$L(q_{ij}) = L(c_i) + \sum_{j' \in M(i) \setminus j} L(r_{ji'}) \quad (14)$$

$$L(Q_i) = L(c_i) + \sum_{j \in M(i)} L(r_{ji}) \quad (15)$$

$$\hat{c}_i = \begin{cases} 0, & L(Q_i) \geq 0 \\ 1, & L(Q_i) < 0 \end{cases} \quad (16)$$

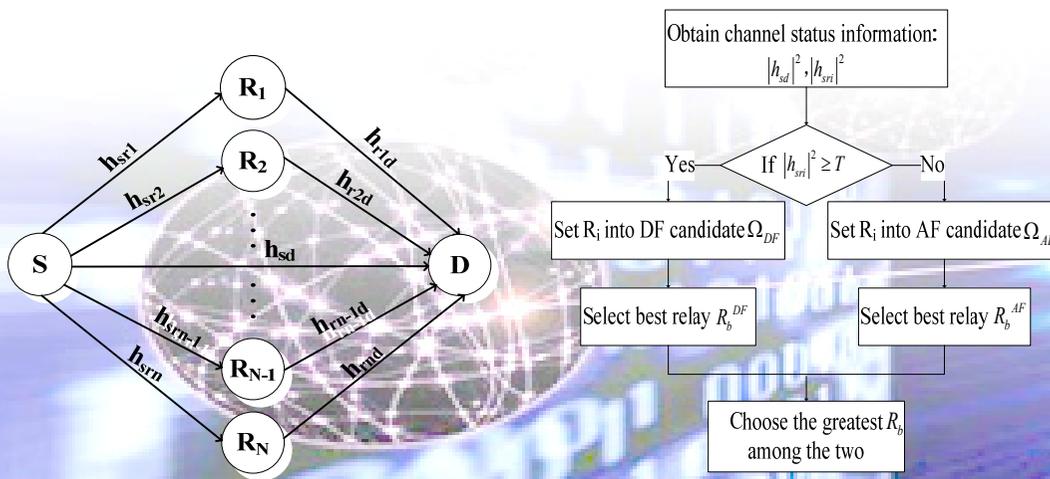
研究进展6: 多天线协作预编码及协同信号传输 (2. 2)

- 仿真结果达到预期效果 [7]. (下图仿真: 码构造EXIT分析, 2×2 , 4×4 VBLAST检测)



研究进展7: 多天线协作预编码及协同信号传输 (3. 1)

- 基于门限决策的SDF中继选择策略性能分析 (中继协作与选择)
 - 性能: 协作门限增加0.09, 系统频谱效率提高0.12, 可获约1.1dB增益
 - 创新点: 基于选择解码转发协议, 构造了门限决策的中继选择策略
 - 特点: 在低信噪比和较少中继场景, 改善了不同门限的中断概率
- 基于中断概率及频谱效率最优的译码转发高效中断选择策略
 - 结合全天候中继场景, 提出选择译码转发的门限决策中继选择策略



$$\Pr(\Omega_k) = C_N^K \prod_{i \in \Omega_k} \Pr(\gamma_{sri} \geq \gamma_{th}) \prod_{i \notin \Omega_k} \Pr(\gamma_{sri} < \gamma_{th})$$

$$P^{out} \approx \left(\frac{\gamma_{th}}{\gamma_{sr}} \right)^N \frac{\gamma_{th}}{2\gamma_{sd}} + C_N^K \left(\frac{\gamma_{th}}{\gamma_{sr}} \right)^{N-K} \left(\frac{\gamma_{th} - \gamma_{r,d}}{\gamma_{sd}} + \left(\frac{\alpha \gamma_{sd}}{\gamma_{rd}} \right)^K \frac{\gamma_{r,d}}{\gamma_{sd}} \right)$$

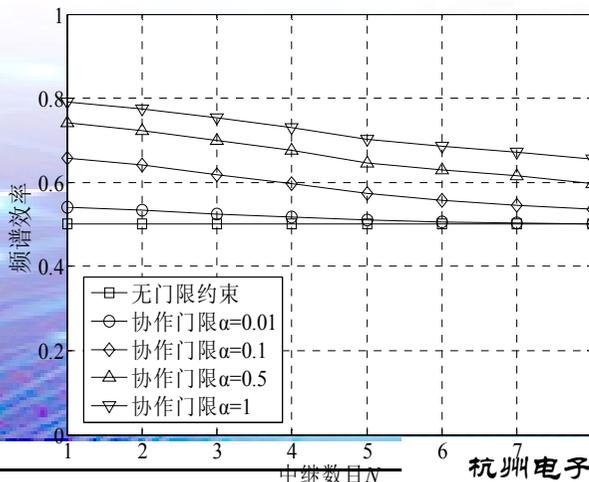
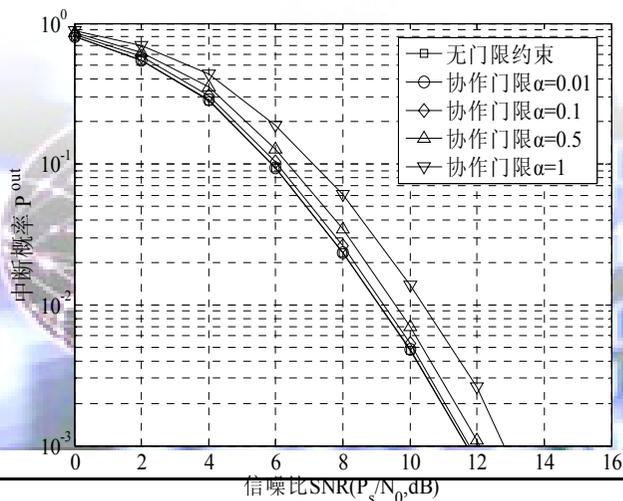
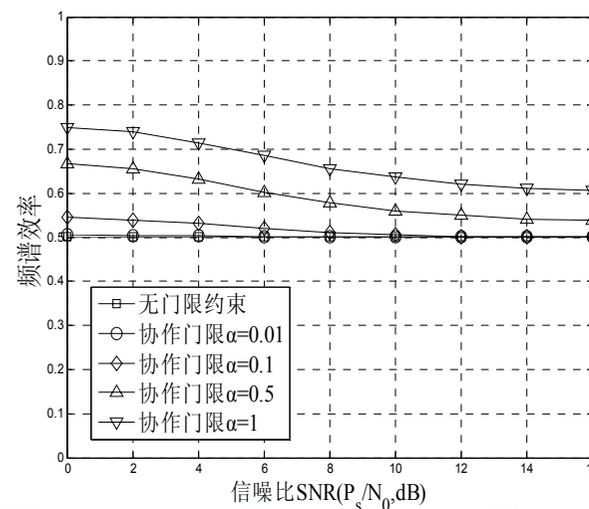
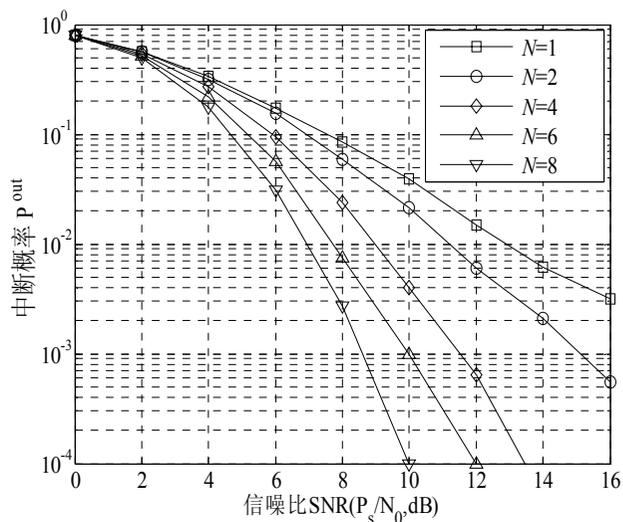
$$\bar{R} = \Pr(\phi^{DT}) + \frac{1}{2} \times (\Pr(\phi^C) + \Pr(\phi^{DRT}))$$

$$\bar{R} \approx \frac{1}{2} \times \left(1 + \left(\frac{\gamma_{th}}{\gamma_{sr}} \right)^N + \left(\frac{\alpha \gamma_{sd}}{\gamma_{rd}} \right)^K \right)$$

2. 图模型协作译码检测

研究进展7: 多天线协作预编码及协同信号传输 (3. 2)

- 仿真结果达到预期效果 [8, 9]. (下图分别仿真: 各类环境中断概率及频谱效率)

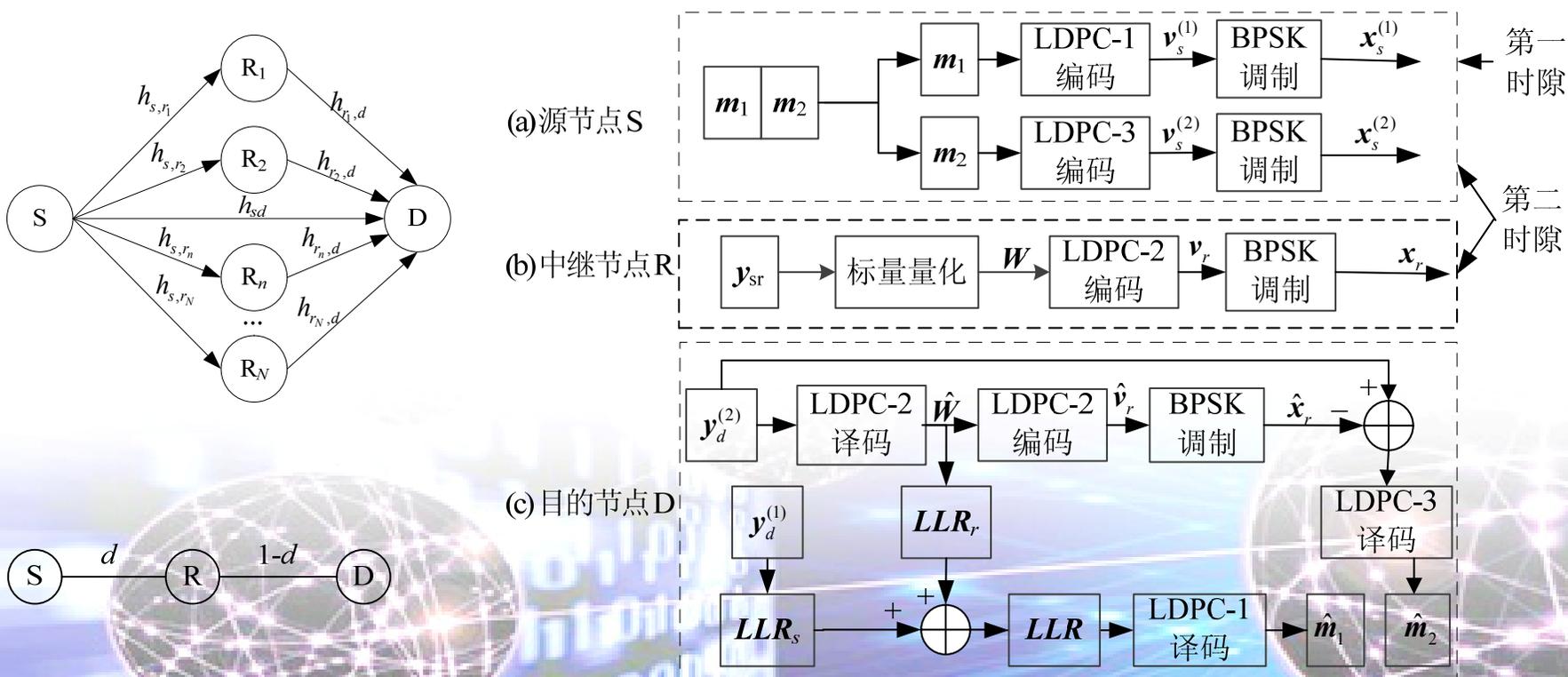


研究进展8: 多天线协作预编码及协同信号传输(4.1)

- 低复杂度最大比合并量化转发方案(中继协作QF转发)
 - 性能: 3-bit QF较1-bit、2-bit QF分别有约4.5~7.5dB和1~2.5dB增益
 - 创新点: 将量化和直传信息最大比合并, 构造优化目标函数, 实现低复杂度最佳中继选择和功率分配
 - 特点: 实现低阶量化和调制的低复杂度QF方案, 较大降低复杂度
- 改进的低阶量化和调制的低复杂度QF方案
 - 针对两跳单中继系统, 设计编码LDPC-1, LDPC-2和LDPC-3, 且码长与量化阶数对应, 高阶码长较大, 译码性能较高但复杂度高
 - 发送方式:
 - 源端发送分为2个时隙、时隙-1信息采用LDPC-1编码, 时隙-2采用LDPC-3
 - 中继在时隙-2对接收的信息先量化, 再用LDPC-2编码后转发目的端
 - 目的端将来自中继的消息实现LDPC-2译码, 译出量化信息, 再用MRC与第一时隙收到的LDPC-1编码合并, 且在软信息对数似然率基础上合并
 - 另将时隙-1接收的消息, 用LDPC-1译码, 最后将上述结果协作合并

研究进展8: 多天线协作预编码及协同信号传输 (4. 2)

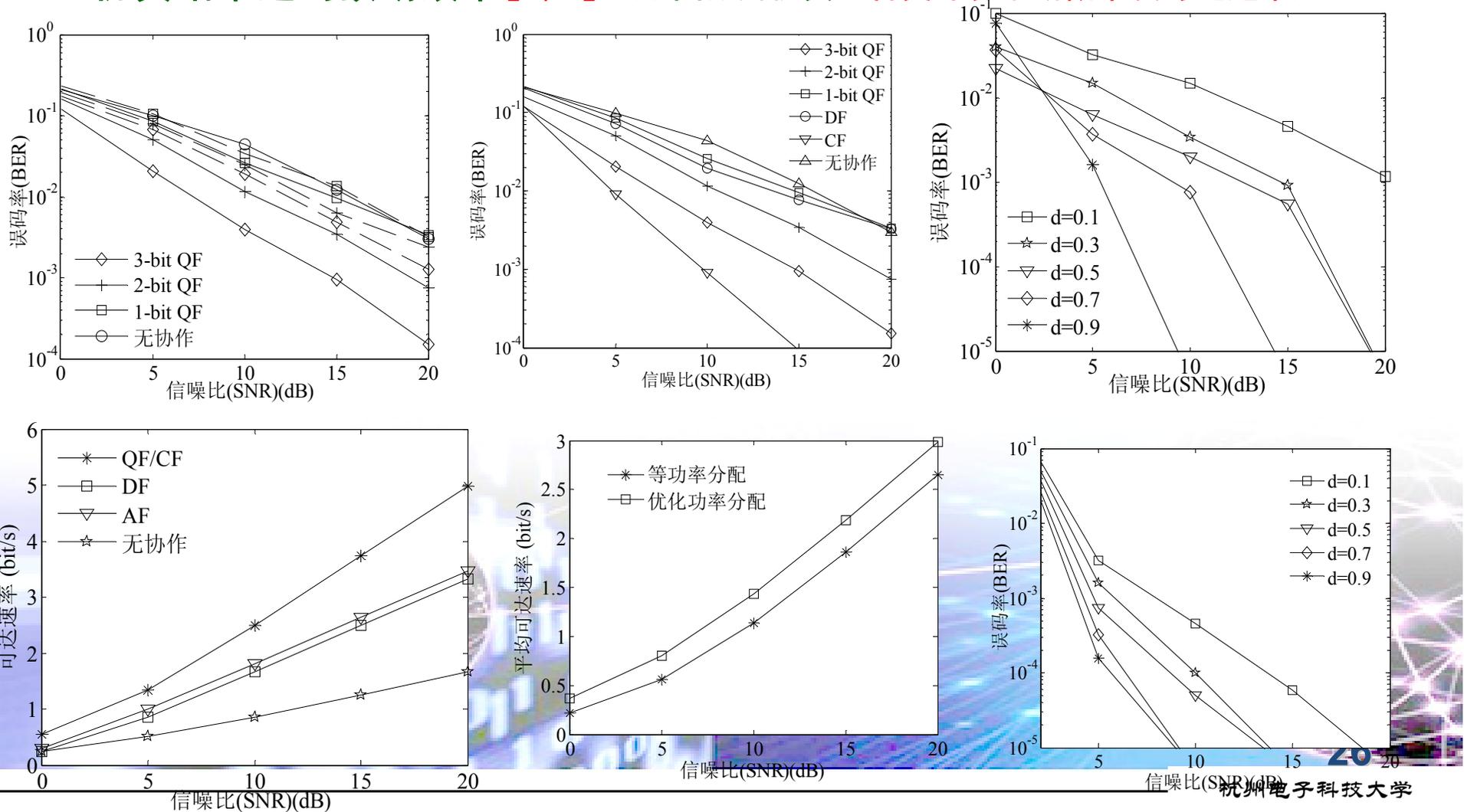
- 两跳多中继模型下的中继协作QF转发



2. 图模型协作译码检测

研究进展8: 多天线协作预编码及协同信号传输 (4.3)

- 仿真结果达到预期效果 [8, 9]. (下图分别仿真: 各类环境中中断概率及可达速率)



研究成果小结

课题组围绕本课题目标，取得以下研究成果

- 在国际国内期刊和本领域重要国际会议发表(录用)论文**29篇**:在IEEE TVT、WCMC、KSII、IET COM等SCI期刊发表论文**6篇**，在国内外EI期刊发表(录用)论文**16篇**，在国际会议上发表(含录用)论文**3篇**，在投SCI论文**5篇**，出版专著、教材3部
- 授权国家发明专利**2项**，**申请5项**
- 已培养硕士毕业生**2名**，正培养硕士生**6名**
- 获厅局级科技进步奖**1项**

2. 研究进展与研究成果

研究成果小结



2. 研究进展与研究成果

前期论文、专利成果清单(1)

完成SCI论文6篇，EI论文16篇，中文一级2篇，专利授权2项，申请5项
(预期目标：SCI论文 \geq 4篇；EI论文 \geq 8篇)

•第1部分：编码优化构造

- [1] Jianrong Bao, Xiqi Gao, Xiaorong Xu, Guorui, Bin Jiang, "Low-rate QC LDPC codes with reconfigurable structures for space information networks," Journal of Communications (EI收录)
- [2] 郭锐, 刘春于, 王美洁, 潘鹏, 包建荣, 郭春生. 基于平均概率和停止准则的多元LDPC码加权符号翻转译码算法. 通信学报. (EI收录),
- [S1] 包建荣, 高西奇, 刘超, 姜斌. 扩展原模图QC-LDPC短码的优化构造. 华中科技大学学报. (EI收录)
- [S2] 包建荣, 等. 高效QC-LDPC预编码Raptor编码协作方案[J]. 电子与信息学报. (EI收录)
- [S3] Jianrong Bao, X. Wang, Chao Liu, Bin Jiang, "Optimized protograph G-LDPC codes with good threshold and low floor" IEEE Transaction on Wireless Communications (已投稿)

•第2部分：联合迭代解调

- [3] Jianrong Bao, Xiqi Gao, Chao Liu, Bin Jiang, "Iterative carrier recovery in an LDPC coded QPSK system at low SNRs," WCSP 2015 (录用) (EI收录)
- [S4] Jianrong Bao, Xiqi Gao, Chao Liu, Bin Jiang, "Novel iterative SNR estimation with soft LDPC decoding metrics" IET Electronic Letters (已投稿)
- [P1] 姜斌, 包建荣, 许晓荣. 可分块而扩展的高速流水线移位解扩方法及装置. 2014.3.14, 中国. 公开号: CN102710280A. (已授权)

前期论文、专利成果清单(2)

•第3部分：稀疏信道估计与频谱识别

- [4] X. Xu, J. Bao, et.al., Energy efficiency based optimal relay selection scheme with a BER constraint in cooperative cognitive radio networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. (SCI收录)
- [5] 许晓荣, 王赞, 姚英彪, 包建荣. 基于多任务贝叶斯压缩感知的宽带频谱检测, 华中科技大学学报(自然科学版), 2015, 43(5):33-38, 43. (发表) (EI收录),
- [P2] 许晓荣, 包建荣, 姜斌, 陆宇, 骆懿. 认知无线网络中基于自适应测量的贝叶斯压缩宽带频谱检测方法. 2015.1.28, 中国. 授权公开号: CN102833020B. (已授权)

•第4部分：多天线多中继协同传输

- [6] 姜斌, 包建荣, 唐向宏, 曾嵘. MIMO空间通信格约简TH预编码分析与改进. 空间科学学报. 2015, 35(4): 519-524. (发表, 中文一级学报)
- [7] 包建荣, 高西奇, 姜斌, 唐向宏. LDPC译码硬判决辅助迭代VBLAST检测. 华中科技大学学报. (录用)预计2015年10月发表. (EI收录)
- [8] 章坚武, 蒋静, 包建荣, 刘超. 基于门限决策的SDF中继选择策略性能分析. 电信科学. (发表, 一级学报)
- [S5] Jing Jiang, Jianrong Bao, Jianwu Zhang, Chao Liu, "Improved relay selection strategy for hybrid decode-amplify forward protocol," Journal of communications (发表) (EI收录).

汇报内容

1 应用背景与研究思路

2 图模型协作译码检测

3 超高速LiFi-IoT应用

4 发展趋势与工作总结

LiFi-IoT优势及应用场景

技术概述



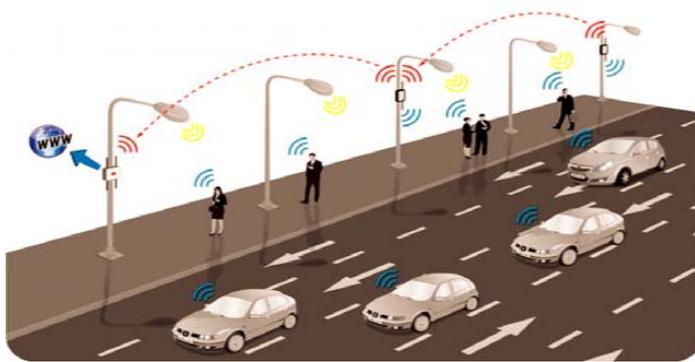
光保真技术(LiFi)利用半导体LED灯光线实现“光照即联网”的新型高速数传技术。其绿色低碳、可实现近乎零耗能通信，还可有效避免传统无线通信电磁泄露、易受干扰等弱点，易快速构建抗干扰、抗截获信息传输。此外，LiFi通信还具有**高速、无电磁干扰、不会对人体健康造成影响**等多种优势。

3. 超高速LiFi-IoT应用

LiFi-IoT优势及应用场景

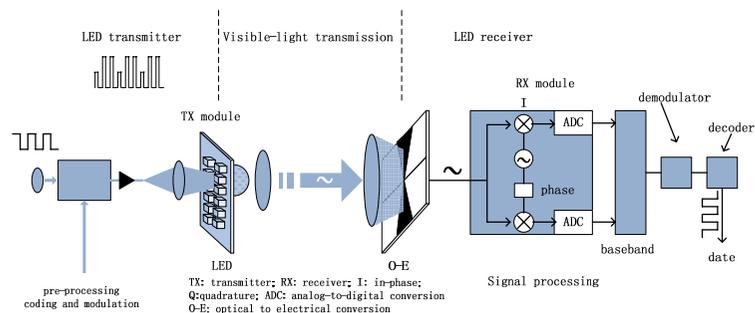
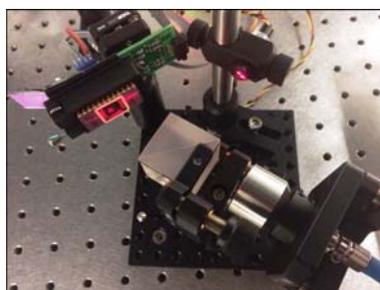


医院



LiFi-IoT优势及应用场景

- 光电平台(光电硬件)及编码信号处理(信号系统)系统集成
 - [光器件及光电接口]选用/改进了新型近可见光/红外等光纤激光器，研制了全光纤型器件组成设备结构，设计了低损耗光电转换电路，发射波段 $1.55-2\mu\text{m}$ ，具备稳定性高、效率高、相干性好、噪声低、价格低、增益谱宽、可调谐范围宽、人眼安全波段等优势。
 - [集成电路高速信号处理部分]选用多路并行FPGA系统，实现Gbps的数据处理吞吐量，适应Gbps光信号传输系统要求



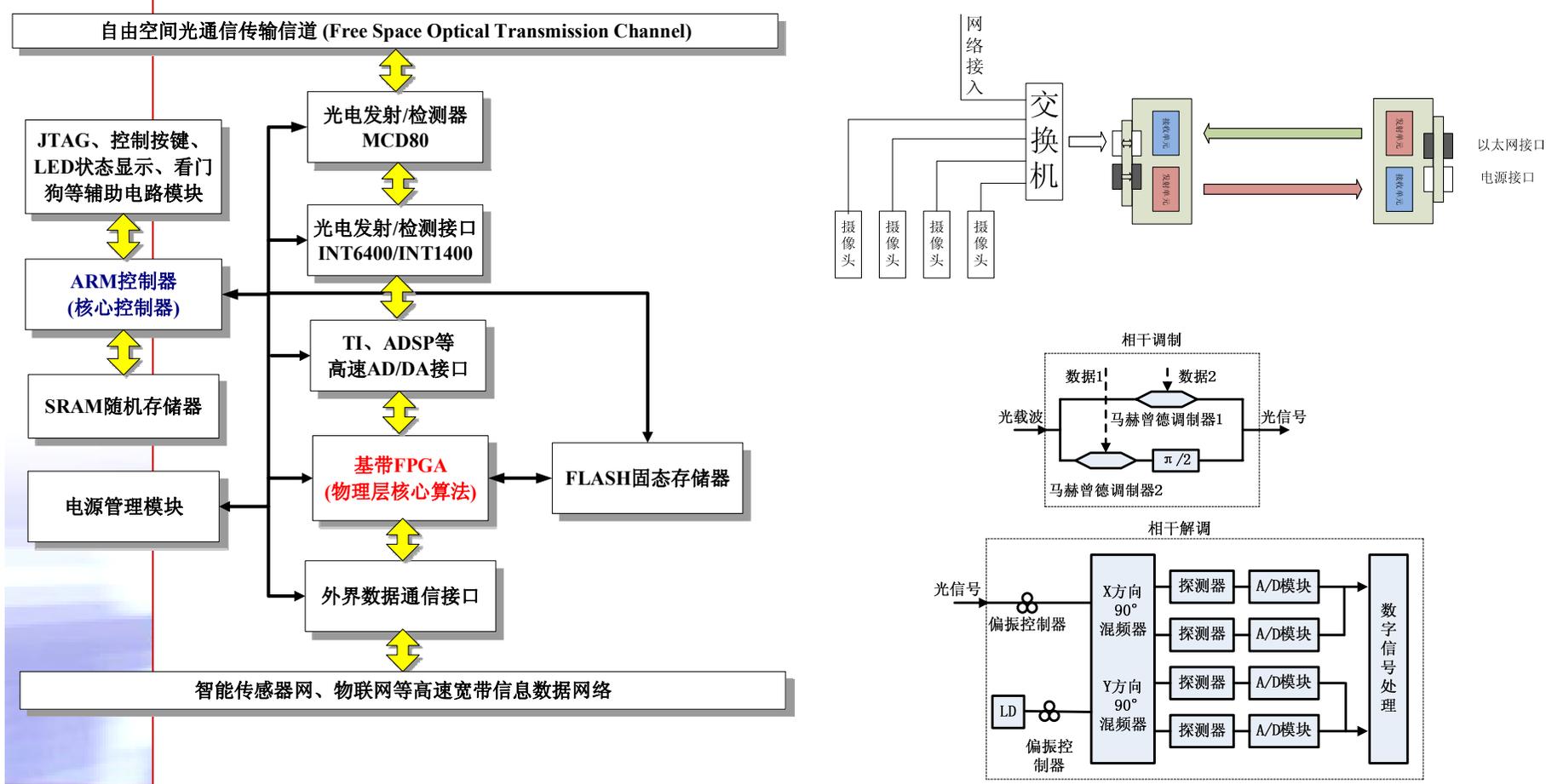
LiFi-IoT优势及应用场景

- LiFi实物光电收发样机系统



LiFi-IoT优势及应用场景

LiFi实物光电收发样机系统结构图



LiFi-IoT 系统技术指标

序号	检测项目	技术指标
1	通道容量	多组捆绑, 最高1024路
2	载波信道	4, 32, 128, 256, 512, 1024灵活切换
3	调制方式	光波调制PPM/OOK/PSK等可变基本调制+ACO-OFDM多载波复合调制
4	编码方式	重复累积结构LDPC码, 码率5/6,7/8,15/16
5	红外光谱	灵敏度 $\leq -30\text{dBm}$
6	发信功率	1W(37dBm)/5W(40dBm)/可选
7	调制速率	$\geq 10\text{Gbps}$
8	传输距离	室内最远达5-10m
9	频率稳定度	1ppm (0 $^{\circ}\text{C}$ ~45 $^{\circ}\text{C}$)
10	传输误码率	$\leq 10^{-5}$
11	纠错能力	可纠错至少0.5%的错误率
12	工作模式	终端、中继(带数字再生功能)模式
13	抗干扰特性	先进光信号滤波、自动规避干扰频段功能
14	工作要求	稳定不掉线, 无辐射, 低功耗, 绿色节能, 兼顾照明功能

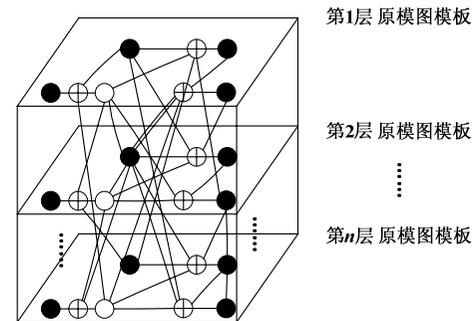
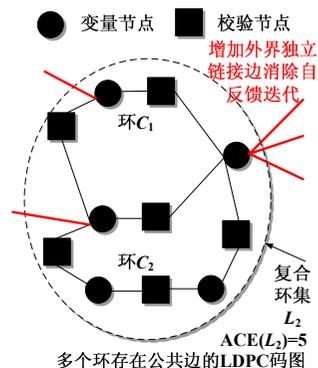
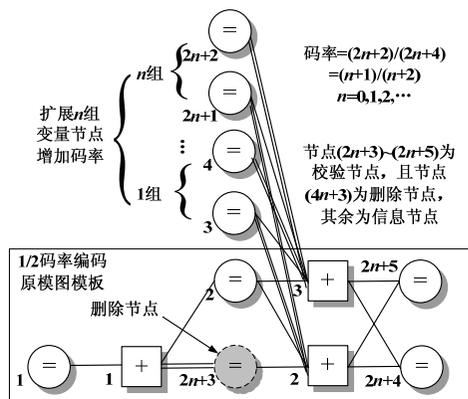
LiFi-IoT关键信号处理技术

- 随机图码字构造及随机度理论分析技术
 - 获得接近理论限高性能纠错编码的理论创新
- 协同译码检测与解调技术
 - 以软概率消息传递为手段，消除传统分立处理引起的互信息损失，提高检测性能，及其干扰规避与消除的变换域协同抗干扰LED光无线传输
- 多参数协同嵌套检测及自主光无线电协同传输技术
 - 整合上述编码、调制及多光路信号联合检测等关键核心技术

LiFi-IoT关键信号处理技术-1

- 随机图码字构造及随机度理论分析技术

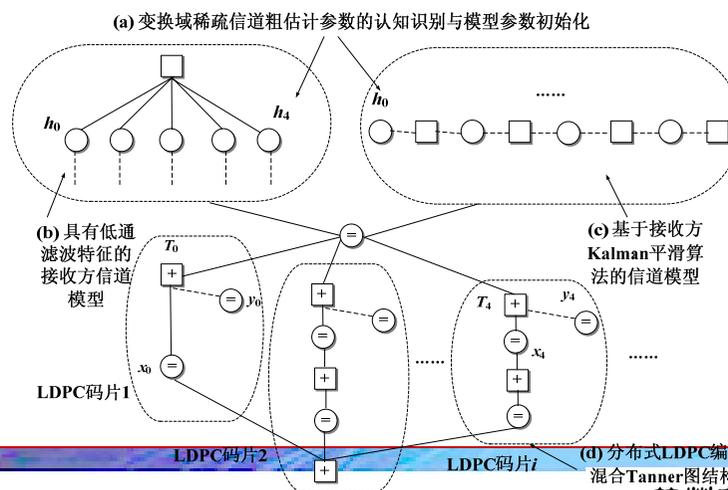
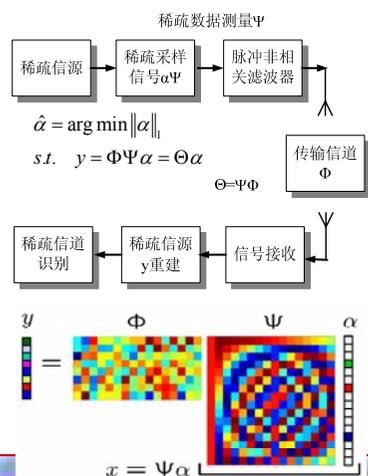
- 高码率光通信编码的立体稀疏随机图编码模型构造
- 根据随机图改进Tanner图中环间关系，通过独立环外节点消息导入环内节点，消除环内节点自反馈，且针对该两个香农引理所述的特性(随机性、最大似然译码)优化及理论预测



LiFi-IoT关键信号处理技术-2

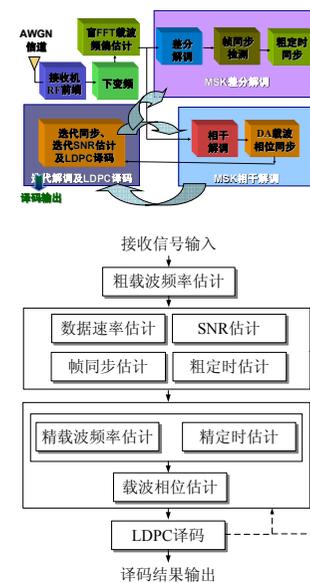
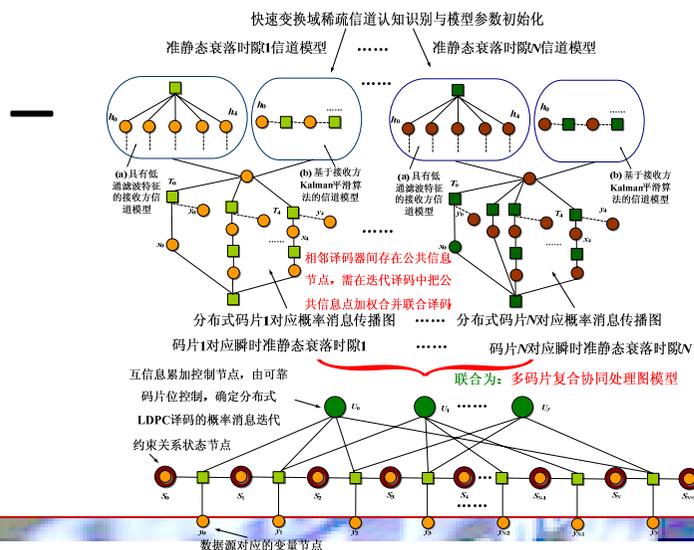
• 协同译码检测与解调技术

- 将码间干扰等效为信噪比下降，将其统一建模为稀疏概率图框架消息迭代环节，实现稀疏光信道快速初始认知识别，且充分利用编码隐含马尔科夫约束，迭代求解目标函数，完成待估计信道参数自适应迭代更新，以降低复杂度，提高可靠性和性能



LiFi-IoT关键信号处理技术-3

- 多参数协同嵌套检测及自主光无线电协同传输技术
 - 通过优化光无线信号传输的参数估计及检测算法，确保光信号参数估计的优异性能和低复杂度，及信号处理层间参数估计传递消息可靠，确保参数估计收敛。



LiFi-IoT关键信号处理技术-4

- 因超高速传输带来的高速并行FPGA调制解调关键技术
 - ACO-OFDM光波并行调制解调
 - 并行同步MAP-Gardner定时恢复
 - 部分并行变换域稀疏抗干扰
 - 采用量化精简结构的并行均衡
 - 调制端CRC滤波器并行成型滤波
- **算法并行化改进，以在约200Mhz极限速率的FPGA芯片板载平台解决Gbps的光信号处理速率需求问题**

LiFi-IoT面临的工程实践问题

- LDPC编码性能验证耗时，性能预测难度较大
 - LDPC译码的蒙特卡洛仿真异常耗时
- 译码辅助迭代信号处理复杂度较高
 - 概率图消息迭代计算量较大，乘法运算量多
- 多中继协同信号处理收敛范围较小
 - 多中继检测参数估计搜索范围大，计算量大，时延过长
- 循环嵌套的多重参数估计复杂度过高
 - 噪声方差，载波定时相位等参数多变量联合优化复杂度巨大

拟解决的方法

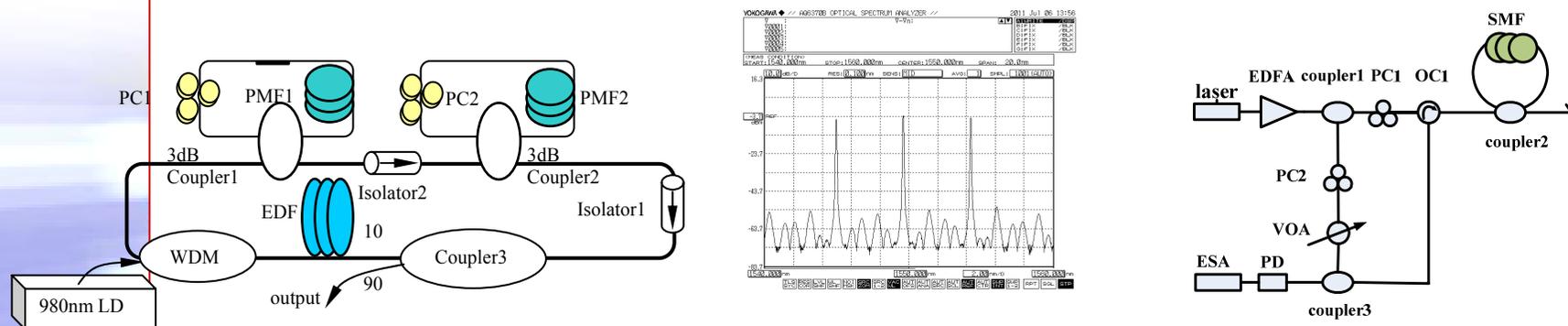
- **LDPC译码的蒙特卡洛仿真异常耗时**
 - 编码矩阵的理论误码性能预测；采用多核GPU和FPGA并行仿真
- **概率图消息迭代计算量较大，乘法运算量多**
 - 乘除计算变换为对数域加减；利用近似-自适应收敛于最优解
- **多中继检测参数估计搜索范围大，计算量大，时延大**
 - 传统解调快速预估计近似参数；利用分组码帧头协助训练参数
- **噪声方差，载波相位等多参数变量联合优化复杂度巨大**
 - 先差分解调预计算部分参数，再转相干解调计算剩余参数
 - 参数的自主无线电迭代层次法多阶段快速估计

LiFi-IoT关键光电器件技术

- 设计并研制了稳定的可调谐多波长光纤激光器
- 研制了烟雾穿透性好的 $2\ \mu\text{m}$ 波段可调谐光纤激光光源发生器
- 研制了多波长光纤激光WDM传输系统

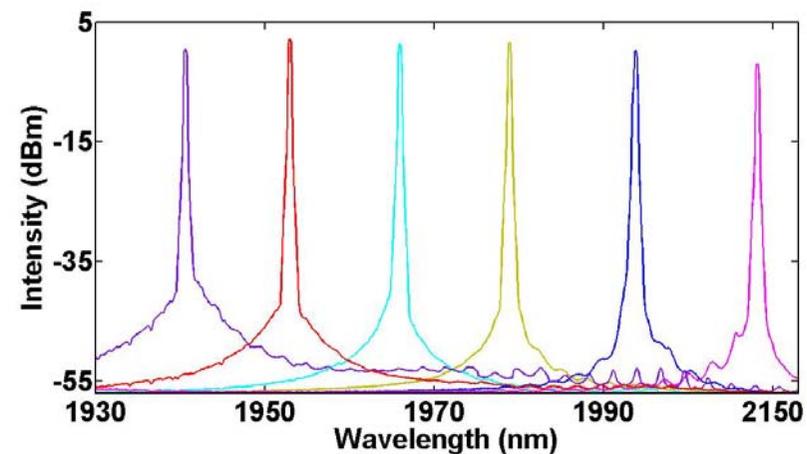
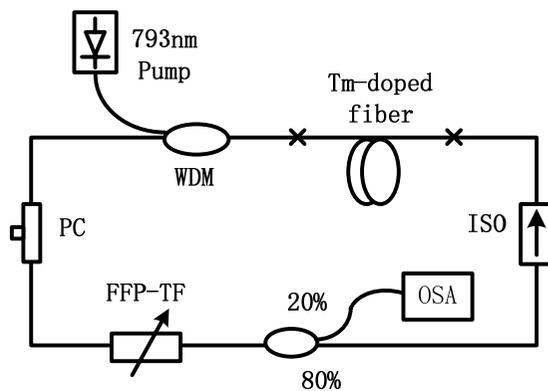
LiFi-IoT关键光电器件技术-1

- 研究了全光纤多波长激光的产生机制，突破了稳定的可调谐多波长激光技术，利用光纤非线性效应，设计并研制了稳定的可调谐多波长光纤激光器
 - Sagnac光纤干涉仪作为光纤激光谐振腔结构的滤波器件，实现激光选频，形成激光振荡



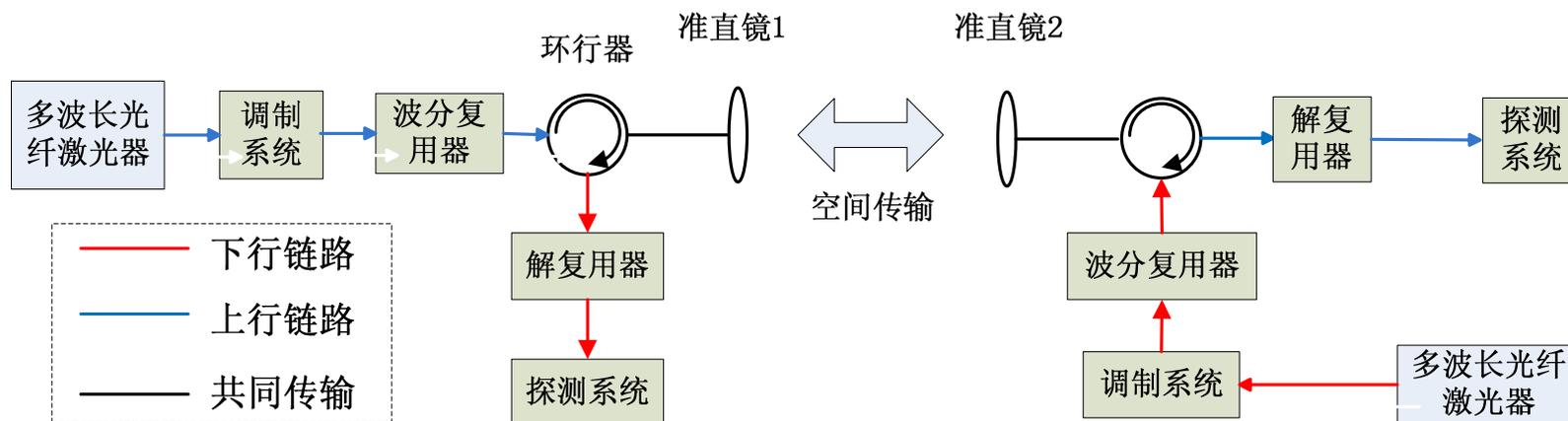
LiFi-IoT关键光电器件技术-2

- 研究了烟雾穿透性好的 $2\ \mu\text{m}$ 波段可调谐光纤激光光源发生器
 - 研制了70nm范围内连续可调谐窄线宽光纤激光器，利用了793小型半导体泵浦，泵浦增益介质掺铥光纤，采用FP可调谐光纤滤波器调谐波长



LiFi-IoT关键光电器件技术-3

- 研制了综合多波长光纤激光WDM传输系统
 - 作为光波分复用(WDM)光通信系统多个载波光源，多波长光纤激光器具有灵活波长调整等优势



汇报内容

1 应用背景与研究思路

2 图模型协作译码检测

3 超高速LiFi-IoT应用

4 发展趋势与工作总结

IoT发展趋势

- 深化研究以LDPC译码辅助迭代信号处理为代表的协作信号传输方法及应用，以多中继协同处理为基础的IoT通信多中继自适应拓扑结构及优化等基础理论问题
- 深化研究IoT通信协同传输中的若干关键技术
 - 面向IoT通信的高增益低复杂度信道编译码技术、高功率效率的联合解调译码技术、基于稀疏信道参数估计的高效传输技术、多中继联合协同检测/译码/信道传输优化技术
- 全链路仿真，实现IoT协同传输仿真验证平台

工作总结

- 较好制定了总体方案，基本完成了阶段目标(论文、专利、人才培养、国际交流)，初步开展了4项研究内容，较深入探索了多中继协同处理为基础的近空通信多中继协同信号传输等基础理论问题，经费使用合理
- 后续工作:继续深化IoT协同传输关键技术研究
 - 结合稀疏概率图模型的高功率效率联合解调译码技术、基于稀疏信道参数估计的高效传输技术、多中继联合协同检测/译码/信道传输优化技术(特别是上述关键技术的硬件仿真)
 - 全链路联合仿真，实现近空协同传输仿真验证平台

The End

Thank You !

谢谢!

敬请各位专家批评指正!