

Viện Nghiên cứu Điện tử, Tin học, Tự động hóa.

Cao Văn Liết

**Nghiên cứu xây dựng mã sửa sai có ma trận
kiểm tra mật độ thấp trong truyền dẫn số**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử Mã số: 62.52.02.03

Nghiên cứu sinh: Cao Văn Liết

Tập thể hướng dẫn khoa học: - PGS.TS. Nguyễn Hồng Vũ

- TS. Nguyễn Thế Truện

CÁC KÍ HIỆU ĐƯỢC SỬ DỤNG

$\alpha_i(t - 1)$	là xác suất bắt đầu ở trạng thái S_i tại thời điểm t , tương ứng với tất cả các symbols nhận được từ trước cho đến thời điểm t ;
$\gamma_{i,j}(t)$	Xác suất chuyển từ trạng thái S_i sang trạng thái S_j tại thời điểm t khi nhận được từ mã $y(t)$;
β_j	Xác suất kết thúc ở trạng thái S_j tại thời điểm t , tương ứng với tất cả các symbols nhận được từ sau thời điểm t ;
ρ, τ, λ	Các hàm phân bố xác suất;
\mathbf{A}	Ma trận thành phần \mathbf{A} ;
\mathbf{A}^{-1}	Ma trận nghịch đảo của ma trận thành phần \mathbf{A} ;
$F(f)$	là hàm biến đổi Fourier của hàm f ;
\mathbf{G}	Ma trận sinh mã;
\mathbf{H}	Ma trận kiểm tra;
\mathbf{H}^T	Ma trận kiểm tra chuyển vị;
\mathbf{I}	Ma trận đơn vị;
K	Số bit thông tin trong một từ mã;
M	Số bit mã trong một từ mã;
M_R, M_T	Số phần tử thu và phát trong mô hình MIMO;
L_{CC}	Độ phức tạp mã chập;
L_{TC}	Độ phức tạp mã Turbo;

LR_j	(likelihood Ratio) là tỉ số xác suất bit mã thứ j có giá trị nhị phân là '0' trên xác suất bit đó có giá trị nhị phân là '1';
N	Số bit trong một từ mã;
$Q_{i,j}^a$	Xác suất truyền từ nút biến số thứ j sang nút kiểm tra thứ i ;
P_e	Xác suất lỗi bit;
$p_{ij}(t)$	xác suất bộ mã hóa thực hiện chuyển từ trạng thái S_i sang trạng thái S_j tại thời điểm t ;
$P(u(t) = 1 y)$	Xác suất có điều kiện của bit u nhận được bằng "1" khi thu được tín hiệu y ;
PR	Tỉ số xác suất;
$R_{i,j}^a$	Ước lượng xác suất tương ứng của nút kiểm tra thứ i , khi symbol thứ j ở trạng thái a ;
Rot	Hàm dịch trạng thái ô nhớ;
$Symbol$	Là một cụm bit được ánh xạ lên một sóng mang trong một cửa sổ thời gian nhất định;
T_{trmax}	Thời gian trễ của tia phản xạ;
T_{symbol}	Thời gian của một Symbol;
x	Bit được điều chế phát đi từ phía phát;
y	Bit được điều chế thu ở phía thu;
$\begin{pmatrix} n \\ L \end{pmatrix}$	ma trận một cột hai hàng, hai phần tử n, L

THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

3G	Third Generation	Hệ thống thông tin thế hệ thứ 3
ACK	ACKnowledgement	Tín hiệu xác định đã nhận thông tin
AWGN	Additive White Gaussian Noise	Kênh truyền dẫn tạp âm trắng
BCH	Bose-Chaudhuri-Hocquenghem	Mã BCH
BEC	Binary Erasure Channel	Kênh xóa nhị phân
BER	Bit Error Ratio	Tỉ lệ lỗi bit
BP	Belief Propagation	Tích lũy độ tin cậy
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Điều chế khóa dịch pha nhị phân
CRC	Cyclic Redundancy Check	Mã hóa kiểm tra chẵn lẻ
DVB-C	Digital TeleVision Broadcasting-Cable	Truyền hình cáp kỹ thuật số
DVB-S	Digital TeleVision Broadcasting-Satellite	Truyền hình vệ tinh kỹ thuật số
DVB-T	Digital TeleVision Broadcasting-Terrestrial	Truyền hình mặt đất kỹ thuật số
EXIT	EXtrinsic Information Transfer	Đồ thị trao đổi thông tin ngoại lai
E_b/N_0	Bit Energy per Noise power ratio	Tỉ lệ Năng lượng bit trên tạp nhiễu
FEC	Forward Error Correction	Mã sửa lỗi trước
FFT	Fast Fourier Transform	Biến đổi Fourier nhanh
GM	Generator Matrix	Ma trận sinh
G-LDPC	Generalized Low Density Parity Check	Mã có ma trận kiểm tra mật độ thấp suy rộng
H-ARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest	Mô hình lai ghép ARQ
IP	Internet Protocol	Giao thức mạng Internet
IPTV	Internet Protocol based TeleVision	Truyền hình sử dụng giao thức Internet
LDPC	Low Density Parity Check	Mã có ma trận kiểm tra mật độ thấp
LLR	Log Likelihood Ratio	Tỉ số Logarit hợp lệ
MAP	Maximum A Posteriori	Thuật toán cực đại xác
MIMO	Multi-Input Multi-Output	Hệ thống đa đầu vào ra

ML	Maximum Likelihood	Hợp lệ cực đại tỉ số xuất hậu nghiệm
NACK	Negative ACKnowledgement	Tín hiệu phản hồi phủ định
PCM	Parity Check Matrix	Ma trận kiểm tra
PDF	Power Density Function	Hàm mật độ công suất
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Điều chế biên độ cầu phương
ReqN	Request Number	Số lần yêu cầu
RN	Receive Number	Số lần nhận
RS	Reed Solomon Codes	Mã Reed-Solomon
RSC	Recursive Convolution Codes	Mã chập đệ quy
SISO	Single input Single output	Đơn kênh vào ra
SN	Sequence Number	Số thứ tự
S/N	Signal to Noise Ratio	Tỉ lệ tín hiệu trên nhiễu
SR	Shift Register	Thanh ghi dịch
URC	Unit Rate Code	Mã có tỉ lệ đơn vị
V-BLAST	Vertical Bell Labs Layered Space-Time	Hệ thống không gian thời gian phân lớp của Bell labs
XOR	Exclusive OR	Hàm logic hoặc tuyệt đối
ZF	Zero Forcing	Cưỡng bức không

Danh sách bảng

1.1	Các mốc phát triển chính trong nghiên cứu mã LDPC	30
2.1	Các thông số mô phỏng mã LDPC có hàm phân bố mật độ cho trong (2.5) và thông số $t=2$	71
2.2	Thông số mã LDPC được sử dụng trong mô phỏng	73
3.1	Các thông số mô phỏng hệ thống tích hợp V-BLAST	95
3.2	Các thông số mô phỏng	111
A.1	Các thông số của mã LDPC cho mô phỏng ảnh hưởng của số lần lặp cực đại tới khả năng sửa lỗi của mã LDPC	144
A.2	Yêu cầu tỉ số E_b/N_0 với số lần lặp giải mã cực đại khác nhau để đạt được tỉ số BER= 10^{-4} tương ứng với 3 mã LDPC có thông số cho trong bảng A.1, khi truyền dữ liệu qua kênh AWGN và kênh pha đình Rayleigh không tương quan.	149
A.3	Các thông số mã LDPC được sử dụng trong mô phỏng ảnh hưởng của độ dài từ mã đến khả năng sửa mã.	151

Danh sách hình vẽ

1	Mô hình tổng quát hệ thống truyền hình số	15
2	Các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng của mã kênh	17
1.1	Mô hình hệ thống truyền tin số	22
1.2	Mô hình toán học kênh truyền dẫn	23
1.3	Sơ đồ bộ mã Turbo	26
1.4	Thuật toán giải mã SISO-MAP	27
1.5	Cấu trúc giải mã Turbo	28
1.6	Ma trận kiểm tra của mã LDPC	36
1.7	Ma trận kiểm tra \mathbf{H} có $N = 15$, $wc = 3$, $wr = 4, 5$, $M =$ $N - K = 10$, $r = 1/3$	37
1.8	Ma trận chuyển vị \mathbf{H}_r từ ma trận kiểm tra \mathbf{H} trong hình 4. Ma trận \mathbf{H}_r bao gồm hai ma trận thành phần \mathbf{A} và \mathbf{B} . . .	38
1.9	Tích hai ma trận thành phần trong hình 1.8 được sử dụng để tính ma trận sinh.	39
1.10	Ma trận sinh \mathbf{G} của mã LDPC được tính từ ma trận kiểm tra \mathbf{H}_r	39
1.11	Thông tin ngoại lai được bộ giải mã tạo ra từ thông tin tiền nghiệm của chuỗi bit đầu vào và thông tin kênh truyền. . .	41
1.12	Đồ thị song phương của mã LDPC	47
1.13	Lược đồ giải mã lặp của bộ mã LDPC	49

2.1	Phân bố mật độ chuẩn rời rạc hàm trọng của các cột ma trận kiểm tra thành phần.	56
2.2	Phân bố mật độ cho các bit thông tin	63
2.3	Đồ thị trao đổi thông tin EXIT của mã LDPC có hàm mật độ cho trong phương trình (2.5)	65
2.4	Đồ thị trao đổi thông tin EXIT của mã LDPC có hàm mật độ cho trong phương trình (2.5)	66
2.5	Đồ thị Histogram của mã LDPC có hàm phân bố mật độ trong 2.5 và thông số $t=2$	67
2.6	Đồ thị trao đổi thông tin EXIT của mã LDPC có hàm mật độ cho trong phương trình (2.5) và $t=2$	68
2.7	Đồ thị trao đổi thông tin EXIT của mã LDPC có hàm mật độ cho trong phương trình (2.5) và $t=3$	69
2.8	Mô phỏng khả năng sửa lỗi khác nhau của mã LDPC(1200,1800), sử dụng cùng hàm phân bố mật độ đối với các bit kiểm tra cho trong phương trình (2.5) và sử dụng các hàm phân bố mật độ khác nhau cho các bit thông tin trong từ mã LDPC.	72
2.9	Mã LDPC(1200,3600) có hàm phân bố mật độ cho trong phương trình (2.5) và $t=2$	74
2.10	Mô phỏng khả năng sửa lỗi của mã LDPC khi tăng kích thước ma trận sinh và ma trận kiểm tra lên 10 lần	75
2.11	So sánh khả năng sửa lỗi của các mã khi truyền qua kênh AWGN, sử dụng kiểu điều chế QPSK	76
2.12	So sánh khả năng sửa lỗi của các mã khi truyền qua kênh Rayleigh không tương quan, sử dụng kiểu điều chế QPSK	77
3.1	Hệ thống V-BLAST	82
3.2	Mô hình hệ thống thông tin hỏi đáp ARQ	84

3.3	Giao thức Dừng và chờ	86
3.4	Thời gian phân bố trong giao thức Dừng và chờ	86
3.5	Giao thức quay lại N bước	88
3.6	Phân bố thời gian trong giao thức quay lại N bước	88
3.7	Mô hình tích hợp mã LDPC và hệ thống V-BLAST	90
3.8	Mô hình tích hợp mã RSC-URC và hệ thống V-BLAST	91
3.9	Đồ thị EXIT của hệ thống tích hợp mã LDPC và V-BLAST với độ dài tráo $L=2.400$ bit	92
3.10	Đồ thị EXIT của hệ thống tích hợp mã LDPC và V-BLAST với độ dài tráo $L=24.000$ bit	94
3.11	Mô phỏng quan hệ BER và E_b/N_0 của các hệ thống V-BLAST tích hợp các mã kênh khác nhau	96
3.12	Sơ đồ khối bộ H-ARQ tích hợp LDPC có trợ giúp của bộ điều chế	100
3.13	Cấu trúc gói IP	101
3.14	a) Đồ thị chòm sao của kiểu ánh xạ mã Gray b) Đồ thị chòm sao của kiểu ánh xạ phân đoạn	105
3.15	Đồ thị EXIT của mô hình H-ARQ tích hợp mã LDPC sử dụng bộ ánh xạ mã Gray (Mô hình 2) trong hình 3.14	108
3.16	Đường cong đồ thị EXIT và đường hội tụ của mô hình hệ thống H-ARQ tích hợp mã LDPC sử dụng bộ ánh xạ phân đoạn (Mô hình 1) của hình 3.14	109
3.17	Khả năng hoạt động của các mô hình hệ thống 1,5 và 6, khi điều chế 16-QAM và kênh truyền là AWGN	112
3.18	Khả năng hoạt động của các mô hình hệ thống 1, 3 và 4, khi điều chế 16-QAM và kênh truyền là AWGN	114

3.19	Khả năng hoạt động của các mô hình hệ thống 1 và 2, khi điều chế 16-QAM và kênh truyền là AWGN	115
A.1	Ảnh hưởng của số lần lặp cực đại tới khả năng sửa lỗi của mã LDPC(100,200), khi truyền dữ liệu qua kênh AWGN, điều chế BPSK.	145
A.2	Ảnh hưởng của số lần lặp cực đại tới khả năng sửa lỗi của mã LDPC(250,500), khi truyền dữ liệu qua kênh AWGN, điều chế BPSK.	146
A.3	Ảnh hưởng của số lần lặp cực đại tới khả năng sửa lỗi của mã LDPC(500,1000), khi truyền dữ liệu qua kênh AWGN, điều chế BPSK.	146
A.4	Ảnh hưởng của số lần lặp cực đại tới khả năng sửa lỗi của mã LDPC(100,200), khi truyền dữ liệu qua kênh pha đỉnh Rayleigh không tương quan, điều chế BPSK.	147
A.5	Ảnh hưởng của số lần lặp cực đại tới khả năng sửa lỗi của mã LDPC(250,500), khi truyền dữ liệu qua kênh pha đỉnh Rayleigh không tương quan, điều chế BPSK.	147
A.6	Ảnh hưởng của số lần lặp cực đại tới khả năng sửa lỗi của mã LDPC(500,1000), khi truyền dữ liệu qua kênh pha đỉnh Rayleigh không tương quan, điều chế BPSK.	148
A.7	Độ tăng ích của 3 mã LDPC có các thông số trong bảng A.1 tại $BER = 10^{-4}$, khi dữ liệu được điều chế BPSK và kênh truyền dẫn là AWGN và Rayleigh không tương quan.	148
A.8	Hiệu quả số lần lặp giải mã khác nhau đối với 3 mã LDPC có thông số trong bảng A.1, khi truyền dữ liệu qua các kênh AWGN và pha đỉnh Rayleigh không tương quan.	150