

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Nguyễn Bảo Trung

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU NĂNG
MÁY THU ĐƯỜNG TẢI LÊN NB-IOT**

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

HÀ NỘI – 2021

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



Nguyễn Bảo Trung

**NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU NĂNG
MÁY THU ĐƯỜNG TẢI LÊN NB-IOT**

CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG
MÃ SỐ : 8.52.02.08

LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT
(Theo định hướng ứng dụng)

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC
TS. NGUYỄN NGỌC MINH

HÀ NỘI – 2021

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan nội dung luận văn là của tôi. Các kết quả tham khảo của các tác giả khác đều được trích dẫn đầy đủ nguồn gốc. Nội dung trình bày trong luận văn là chưa có tác giả nào công bố.

Tác giả luận văn

Nguyễn Bảo Trung

LỜI CẢM ƠN

Thực hiện luận văn thạc sĩ là một thử thách lớn, đòi hỏi sự kiên trì và tập trung cao độ. Tôi thực sự hạnh phúc với kết quả đạt được trong đề tài nghiên cứu của mình. Những kết quả đạt được không chỉ là nỗ lực cá nhân, mà còn có sự hỗ trợ và giúp đỡ của các thầy hướng dẫn, nhà trường, bộ môn, đồng nghiệp và gia đình. Tôi muốn bày tỏ tình cảm của mình đến với họ.

Trước hết, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới thầy giáo - TS. Nguyễn Ngọc Minh đã quan tâm hướng dẫn và giúp đỡ tôi trong suốt quá trình thực hiện và hoàn thành luận văn.

Tôi xin trân trọng cảm ơn Khoa Viễn thông 1, Khoa Đào tạo Sau Đại học và Lãnh đạo Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông đã tạo điều kiện thuận lợi cho tôi trong suốt quá trình thực hiện luận văn. Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành tới tất cả những người bạn của tôi, những người luôn chia sẻ và cổ vũ tôi trong những lúc khó khăn.

Hà Nội, ngày 09 tháng 01 năm 2021

Học viên

Nguyễn Bảo Trung

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	I
LỜI CẢM ƠN	II
MỤC LỤC.....	III
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU TOÁN HỌC.....	VI
DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT	IX
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU.....	XII
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	XIII
LỜI MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG I.....	2
TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TRUYỀN THÔNG NB IOT	2
1.1 CÔNG NGHỆ MẠNG ĐIỆN RỘNG CÔNG SUẤT THẤP LPWAN.....	2
1.2 SO SÁNH LORA VÀ NB IOT.....	5
1.2.1 Lora.....	5
1.2.2 NB IOT	6
1.3 TIỀM NĂNG CỦA CÔNG NGHỆ NB-IOT.....	9
1.4 MỤC TIÊU THIẾT KẾ CỦA NB-IOT TRONG CÁC BẢN PHÁT HÀNH	9
1.4.1 Bản phát hành 13.....	9
1.4.2 Bản phát hành 14.....	10
1.4.3 Bản phát hành 15.....	12
1.4.4 Bản phát hành 16.....	13
1.5 CÁC THAM SỐ ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG NB-IOT	14
1.5.1 SINR	14
1.5.2 Thông lượng.....	14
1.5.3 Tỷ lệ mất gói	14
1.5.4 Tính tin cậy của khối truyền tải	15
1.5.5 Suy hao	15

KẾT LUẬN CHƯƠNG 1	15
CHƯƠNG II.....	16
THIẾT KẾ ĐƯỜNG TẢI LÊN MÁY THU NB IOT.....	16
2.1 NGHIÊN CỨU VỀ THIẾT KẾ MÁY THU TRONG KÊNH NPRACH	16
2.1.1 Thiết kế máy thu NPRACH.....	16
2.1.2 Bộ nhận NPUSCH định dạng 1 (Dữ liệu)	24
2.1.3 Bộ nhận NPUSCH định dạng 2 (Điều khiển).....	31
2.2 NGHIÊN CỨU VỀ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG TỐI HIỆU NĂNG.....	36
2.2.1 Ảnh hưởng của khoảng cách truyền của tín hiệu.....	36
2.2.2 Ảnh hưởng của số lượng nút NB-IoT đến độ tin cậy.....	38
2.2.3 Ảnh hưởng của rào cản xây dựng đối với độ tin cậy	40
KẾT LUẬN CHƯƠNG 2	42
CHƯƠNG III.....	43
GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU NĂNG MÁY THU	43
ĐƯỜNG TẢI LÊN NB-IOT	43
3.1 GIẢI PHÁP PHÂN CỤM THEO KHOẢNG CÁCH VÀ CƯỜNG ĐỘ TRUY CẬP	43
3.1.1 Phần mở đầu có thể tái sử dụng	43
3.1.2 Cường độ truy cập.....	45
3.1.3 Mô tả thuật toán	46
3.1.4 Đánh giá thuật toán	46
3.2 GIẢI PHÁP LỰA CHỌN CÁC GIÁ TRỊ ĐỊNH KỲ PHÙ HỢP.....	50
3.2.1 Mô tả thuật toán	50
3.2.2 Đánh giá thuật toán	56
3.3 GIẢI PHÁP SỬ DỤNG DẠNG SÓNG TÍN HIỆU KHÔNG TRỰC GIAO.....	59
3.3.1 Dạng sóng NB-IOT nâng cao	60
3.3.2 Thuật toán SD loại I	61
3.3.3 Thuật toán SD loại II.....	61
3.3.4 Đánh giá thuật toán	63
3.4 ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH ÁP DỤNG TẠI QUẦN ĐẢO CÔ TÔ.....	64

3.4.1 Tiềm năng áp dụng.....	64
3.4.2 Mô hình giải pháp quản lý thực thể trên quần đảo	65
KẾT LUẬN CHƯƠNG 3	67
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	68
TÀI LIỆU THAM KHẢO	69
PHỤ LỤC	71

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU TOÁN HỌC

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
Δf	Khoảng cách sóng mang con giữa các tone NB-IoT	Hz
λ	SNR trên sóng mang phụ NPRACH ρ	dB
a_k	Bảng chữ cái điều chế được truyền trên tone k	
$e_{s,l,k}$	Ký hiệu cân bằng l , cho khe s và tone k .	
$e_{s,l,k}^t(n)$	Mẫu n trong miền thời gian của ký hiệu cân bằng l , cho khe s và tone k	
f_0	Tần số phân tách giữa LTE và NB-IoT	Hz
G_v	Vectơ các số liệu phát hiện NPRACH thô (không chuẩn hóa)	
G^*	Giá trị lớn nhất của vectơ các số liệu phát hiện NPRACH thô (không chuẩn hóa) sau khi nội suy đa thức.	
h_b	Ước tính kênh trung bình cho khối b	
$h_{m,i}$	Độ lợi kênh của ký hiệu thứ i^{th} trong nhóm ký hiệu m^{th}	dB
$h_{s,3}$	Ước tính kênh được làm mịn tần số trong khe s cho NPUSCH định dạng 1	
H_v	Véc tơ FFT của ước tính kênh được làm mịn tần số	
I_v	Số liệu phát hiện CFO thô (không chuẩn hóa)	
$J_r(u)$	Cân bằng, hiệu chỉnh độ lệch tần số và tích lũy các ký hiệu pilots và dữ liệu qua các RU và các lần lặp lại.	
$J(u)$	Số liệu phát hiện cho các ký hiệu đã nhận được trong NPUSCH định dạng 2	
k	Chỉ số tone của NB-IOT	
$N_{\text{Rep}}^{\text{NPUSCH}}$	Số lần lặp lại theo lịch trình của quá trình truyền NPUSCH.	bits
$N_{\text{symb}}^{\text{UL}}$	Số tone được ấn định và số ký hiệu trong một khe tương ứng	bits
$N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$	Số lượng khe liên tiếp trong một đơn vị tài nguyên UL cho NB-IoT	bits

N_{SC}^{RU}	Số lượng sóng mang con liên tiếp trong một đơn vị tài nguyên UL cho NB-IoT	bits
$N_{cp,l}$	Số lượng mẫu tiền tố chu kỳ của ký hiệu l	bits
M_{iden}^{NPUSCH}	Số lần lặp lại các vị trí giống nhau cho NPUSCH	bits
M_0	Mẫu trong miền thời gian giữa thời điểm bắt đầu ứng dụng dịch chuyển tần số và biểu tượng OFDM thứ l^{th}	
m_{max}	Số liệu phát hiện CFO tối đa	
P_k	Lệch pha giữa các sóng mang con lân cận k	Rad
Q_k^s	Lệch pha giữa các sóng mang con lân cận k trong khe s	Rad
Q_v	Biến đổi FFT véc tơ của sai lệch đã được hiệu chỉnh	
$S_{m,i}[n]$	Là tín hiệu truyền tại mẫu n^{th} của ký hiệu thứ i^{th} trong nhóm ký hiệu m^{th}	
SNR_b	Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu (SNR) cho khối b	dB
$s(t)$	Mẫu NB-IOT miền thời gian tại thời điểm t	
T_1	Hiệu chỉnh độ lệch tần số và sai lệch nhảy tần đã hiệu chỉnh (liên hợp) tổng cộng qua các lần lặp lại.	ms
T_s	Chu kỳ lấy mẫu	ms
U_{4r+1}	Hiệu chỉnh độ lệch tần số và hiệu chỉnh nhảy tần sai khác (liên hợp)	Hz
V_m	Hiệu chỉnh độ lệch tần số sai khác	Hz
w	Số liệu sai khác cuối cùng với pha, tỷ lệ thuận với độ lệch tần số ước tính	
$W_1 \& W_2$	Tổng và sự khác biệt của các số liệu chênh lệch giữa các nhóm ký hiệu và số lần lặp lại	
x	Tổng và sự khác biệt của các số liệu chênh lệch giữa các nhóm ký hiệu và số lần lặp lại	
$X_{m1} \& X_{m2}$	Tổng và hiệu của các số liệu chênh lệch giữa hai nhóm ký hiệu tương ứng.	
$y_{m,i}[n]$	Tín hiệu đã nhận trong miền thời gian của mẫu n^{th} của ký hiệu thứ i^{th} trong nhóm ký hiệu m^{th}	
$y_{m,i}[k]$	Tín hiệu đã nhận trong miền tần số của mẫu n^{th} của ký hiệu thứ i^{th} trong nhóm ký hiệu m^{th}	

$Y_{m,i}$	Mẫu của ký hiệu thứ i^{th} trong nhóm ký hiệu m^{th} trong miền tần số	
Y_m	Tổng các mẫu miền tần số của nhóm ký hiệu m^{th}	
Z_m	Số liệu khác biệt của nhóm ký hiệu m^{th}	
$Z_{l,k} [k_0]$	Các mẫu xoay pha trong miền tần số cho khe s và ký hiệu l	
Z_s^p	Các mẫu xoay pha kết hợp trong miền tần số cho các ký hiệu pilot trong khe s .	
Z_s^d	Các mẫu xoay pha kết hợp trong miền tần số cho các ký hiệu dữ liệu trong khe s .	

DANH MỤC CHỮ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Nghĩa tiếng Anh	Nghĩa tiếng Việt
ALOHA	ALOHA Protocol	Giao thức ALOHA
BPSK	Binary Phase Shift Keying	Điều chế pha nhị phân
CDM	Code Division Multiplexing	Ghép kênh phân chia theo mã
CDF	Cumulative Distribution Function	Hàm phân phối xác suất tích lũy
CID	Cell Identification	Nhận dạng tế bào
CP	Cyclic Prefix	Tiền tố chu kỳ
CSS	Chirp Spread Spectrum	kỹ thuật trải phổ Chirp
DAB	Dynamic Access Blocking	Chặn truy cập động
DCI	Downlink Control Information	Thông tin điều khiển đường xuống
DFE	Physical Resource Block	Giao diện người dùng kỹ thuật số
DL	Downlink	Đường tải xuống
DMRS	Demodulation Reference Signal	Tín hiệu tham chiếu giải điều chế
eDRx	Extended Discontinuous Reception	Tiếp nhận không liên tục mở rộng
ERA-CRPA	Enhanced Random Access Algorithm - Clustering Reuse Preamble Allocation	Thuật toán truy cập nâng cao dựa trên việc phân bổ phần mở đầu có thể tái sử dụng dựa trên phân cụm
FDMA	Frequency Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia miền tần số
GSM	Global System for Mobile	Hệ thống thông tin di động toàn cầu
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request	Lai ghép tự động các yêu cầu lặp lại
ICI	Inter Carrier Interference	Nhiều giữa các sóng mang
ISM	Industrial, Scientific, and Medical	Công nghiệp, khoa học và y tế
LPWA	Low Power Wide Area	Công nghệ truyền thông diện rộng công suất thấp
LTE	Long Term Evolution	Công nghệ di động thế hệ thứ 4
M2M	Machine To Machine	Kết nối Máy tới Máy
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast Services	Dịch vụ đa phương tiện phát sóng đa hướng
MCS	Modulation and Coding Process	Quy trình Điều chế và Mã hóa
MF	Matched Filter	Bộ lọc trùng khớp
MIB	Master Information Block	Khối thông tin chính

MU-MIMO	Multi User - Multiple Inputs Multiple Outputs	Đa người dùng đầu vào nhiều đầu ra
NB-IOT	Narrow band Internet Of Thing	Công nghệ IOT băng hẹp
NPBCH	Narrowband Physical Broadcast Channel	Kênh phát sóng vật lý băng hẹp
NPDCCH	NB-IoT Narrowband Physical Downlink Control Channel	Kênh điều khiển đường xuống vật lý băng hẹp
NPDSCH	NB-IoT Narrowband Physical Downlink Shared Channel	Kênh chia sẻ đường xuống vật lý băng hẹp
NPRACH	NB-IoT Physical Random Access Channel	Kênh truy cập ngẫu nhiên vật lý băng hẹp
NPSS	Narrowband Primary Synchronization Signal	Tín hiệu đồng bộ hóa chính băng hẹp
NPUSCH	NB-IoT Physical Share Data Channel	Kênh chia sẻ đường lên vật lý băng hẹp
NRS	Narrowband Reference Signals	Tín hiệu tham chiếu băng hẹp
NSSS	Narrowband Secondary Synchronization Signal	Tín hiệu đồng bộ hóa thứ cấp băng hẹp
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia theo tần số trực giao
OTDOA	Observed Time Difference Of Arrival	Chênh lệch thời gian từ UE đến các trạm phát lân cận
PRB	Physical Resource Block	Khối nguồn vật lý
PRS	Positioning Reference Signal	Tín hiệu tham chiếu định vị
PSM	Power Saving Mode	Chế độ tiết kiệm năng lượng
PSO	Particle Swarm Optimization	Phương pháp tối ưu cụm
QoS	Quality of Service	Chất lượng dịch vụ
QPSK	Quadrature Phase-Shift Keying	Điều chế pha vuông góc
RA	Random Access	Truy cập ngẫu nhiên
RACH	Random Access Channel	Kênh truy cập ngẫu nhiên
RAR	Random Access Response	Phản hồi truy cập ngẫu nhiên
RF	Radio Frequency	Tần số vô tuyến
RRC	Radio Resource Control	Kiểm soát tài nguyên vô tuyến
RSRP	Reference Signal Receive Power	Công suất nhận tín hiệu tham chiếu
RSRQ	Reference Signal Receive Quality	Chất lượng nhận tín hiệu tham chiếu
RTC	Real Time Clock	Đồng hồ thời gian thực
RTD	Round-Trip Delay	Độ trễ khứ hồi
RU	Resource Units	Đơn vị tài nguyên
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access	Đa truy nhập phân chia theo tần số sóng mang đơn

SC-MCCH	Single-Cell MBMS Control Channel	Ánh xạ Kênh điều khiển MBMS trong một ô
SC-MTCH	Single-Cell MBMS Traffic Channel	Kênh lưu lượng MBMS trong một ô
SC-PTM	Single-Cell Point To Multipoint	Nguyên lý điểm-tới-đa điểm trong một ô
SD	Sphere Decoding	Giải mã cầu phương
SE	Spectral Efficiency	Hiệu suất phổ
SEFDM	Spectrally Efficient Frequency Division Multiplexing	Ghép kênh dạng sóng có phổ không trực giao
SF	Spreading Factors	Yếu tố lan truyền
SI	System Information	Thông tin hệ thống
SIB	System Information Block	Khối thông tin hệ thống
SINR	Signal To Interference Plus Noise Ratio	Tỉ số công suất tín hiệu trên nhiễu với tạp âm
SPS	Semi Persistent Scheduling	Lập lịch bán liên tục
SPS-RNTI	Radio Network Temporary Identifier	Mã nhận dạng mạng vô tuyến tạm thời
SR	Scheduling Request	Yêu cầu lập lịch
TA	Timing Advance	Định thời nâng cao
TB	Transmission Block	Khối truyền tải
TBS	Transport Block Size	Kích thước khối truyền tải
TDD	Time Division Duplex	Song công phân chia theo thời gian
TTI	Transmission Time Interval	Khoảng thời gian truyền
UE	User Equipment	Thiết bị người dùng
UL	Uplink	Đường tải lên

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 Bảng so sánh các công nghệ LPWAN [3]	4
Bảng 1.2 Bảng so sánh từng công nghệ không dây trong tiêu chuẩn 3GPP [5]	5
Bảng 1.3 Bảng so sánh NB IOT và Lora [12].....	6
Bảng 1.4 Bảng so sánh về công suất tiêu thụ [14]	7
Bảng 1.5 Bảng so sánh chi phí [14].....	8
Bảng 1.6 Bảng so sánh thực tế ứng dụng của 2 công nghệ [14]	8
Bảng 3.1 Bảng theo dõi dịch vụ NB IOT [10]	47
Bảng 3.2 Bảng kết quả phân bổ phần mở đầu [8]	49
Bảng 3.3 Bảng giá trị đầu vào [11].....	52
Bảng 3.4 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 40ms [11]	52
Bảng 3.5 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 80ms [11]	53
Bảng 3.6 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 160ms [11]	54
Bảng 3.7 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 240ms [11]	54
Bảng 3.8 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 320ms [11]	54
Bảng 3.9 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 640ms [11]	55
Bảng 3.10 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 1280ms [11]	55
Bảng 3.11 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 2560ms [11]	56
Bảng 3.12 Bảng so sánh số lượng khung truyền phụ ở cả 2 trường hợp.....	56
Bảng 3.13 Bảng so sánh số lượng xung đột ở cả 2 trường hợp	57
Bảng 3.14 Bảng số lượng gói được gửi theo số lần lặp với số lượng UE = 40	58
Bảng 3.15 Bảng số lượng gói được gửi theo số lần lặp với số lượng UE = 80	59
Bảng 3.16 Bảng so sánh hiệu suất phổ	63

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Ứng dụng của LPWAN	3
Hình 1.2 So sánh các công nghệ truyền thông không dây [16]	4
Hình 1.3 So sánh tổng quát các công nghệ	7
Hình 1.4 Yếu tố lưu động.....	8
Hình 1.5 Phổ tần NB IOT [7].....	10
Hình 2.1 Các chế độ hoạt động NB IOT (Đường lên)	16
Hình 2.2 Cấu trúc kênh NPRACH	17
Hình 2.3 Bước nhảy trong NPRACH	18
Hình 2.4 Nội suy đa thức xung quanh FFT bin với giá trị lớn nhất.....	23
Hình 2.5 Cấu trúc RU theo kênh NPUSCH định dạng 1	24
Hình 2.6 Sơ đồ khối máy thu cho NPUSCH định dạng 1 và 2.....	26
Hình 2.7 Cấu trúc đơn vị tài nguyên kênh NPUSCH định dạng 2.....	32
Hình 2.8 SINR và Thông lượng ở các khoảng cách truyền khác nhau	36
Hình 2.9 Độ chính xác của TB và tỷ lệ mất gói theo khoảng cách.....	37
Hình 2.10 SINR và thông lượng ở khoảng cách truyền ngắn.....	37
Hình 2.11 Tỷ lệ mất gói ở khoảng cách truyền dài [9].....	38
Hình 2.12 SINR và thông lượng ở số lượng nút khác nhau	38
Hình 2.13 Thông lượng ở số lượng nút nhỏ.....	39
Hình 2.14 Độ chính xác của TB và tỷ lệ mất gói ở số lượng nút khác nhau.....	39
Hình 2.15 Độ chính xác của TB ở số lượng lớn các nút	40
Hình 2.16 Suy hao theo các vật liệu xây dựng khác nhau	41
Hình 2.17 Tổn thất theo tầng khác nhau [9]	41
Hình 3.1 Cơ chế phát hiện RAR.....	44
Hình 3.2 Phân bố dịch vụ IOT thực tế tại một trạm eNodeB	47
Hình 3.3 Bản đồ phân cụm người dùng theo khoảng cách.....	48
Hình 3.4 Xác suất xung đột phần mở đầu.....	49

Hình 3.5 So sánh thông lượng và độ trễ	50
Hình 3.6 Phân bổ các MCS trong một ô	51
Hình 3.7 Quy trình truy cập ngẫu nhiên trong NB-IoT	51
Hình 3.8 Số lượng khung truyền phụ cần cho truy cập thành công NPRACH	57
Hình 3.9 Xung đột theo lượng người dùng	58
Hình 3.10 Các lược đồ phân bổ sóng mang phụ cho tín hiệu đa sóng mang	60
Hình 3.11 So sánh hiệu năng trong trường hợp dùng kỹ thuật SD loại II	63
Hình 3.12 So sánh hiệu năng trong trường hợp dùng kỹ thuật SD loại II	64
Hình 3.13 Quản đảo Cô tô	65
Hình 3.14 Mô hình quản lý thực thể	66

LỜI MỞ ĐẦU

Ở các nước phát triển như Hàn Quốc, Nhật Bản, các mô hình nhà thông minh, thành phố thông minh là gần như rộng khắp. Internet có ở khắp nơi trong thành phố. Các thiết bị thông minh có thể theo dõi, quản lý, giám sát nhiều thiết bị thông minh từ xa. Hay đơn giản là việc quản lý trẻ em, người cao tuổi đi lạc hoặc bị bắt cóc mà không cần ở bên cạnh 24/24...

Ở Việt Nam, về một mạng lưới vạn vật kết nối Internet hay vạn vật kết nối Internet (IoT) là tương đối mới và việc áp dụng, triển khai nó phục vụ cho xã hội là còn hạn chế. Các nhà mạng lớn như Viettel đã bắt đầu đẩy mạnh xây dựng cơ sở hạ tầng để triển khai các mô hình ứng dụng. Theo ước tính từ IHS Market, dự đoán hơn 75 tỷ thiết bị thông minh sẽ được sử dụng vào năm 2025, tăng 400% so với khoảng 15 tỷ thiết bị đang hoạt động hiện nay. Việc nghiên cứu các mô hình, giải pháp kỹ thuật liên quan là cơ hội cũng như động lực để phát triển kinh tế, tạo ra các sản phẩm thông minh, hướng tới người dùng và xã hội nhiều hơn.

Với mong muốn về một mô hình kết nối các thiết bị thông minh ở vùng sâu vùng xa, vùng hải đảo để phục vụ cho việc quan sát, dự báo cũng như kiểm soát một đối tượng, nhóm đối tượng nào đó. Ví dụ như kiểm soát biên giới, kiểm soát nạn buôn người, quản lý các động vật quý hiếm, các cây gỗ quý hay xa hơn là quản lý biển đảo, những vùng đất xa xôi của tổ quốc... Đề tài này sẽ là tiền đề cho các giải pháp của các mô hình đó.

CHƯƠNG I

TỔNG QUAN VỀ CÔNG NGHỆ TRUYỀN THÔNG NB IOT

Tóm tắt: Trong một môi trường rộng lớn như biển đảo, tồn tại các vấn đề như: Vấn đề như định vị, dẫn đường, cảnh báo cứu hộ cứu nạn, vấn đề quản lý các thực thể trên biển (đảo, bãi cạn) hay giám sát nông nghiệp trên đảo... việc áp dụng khoa học công nghệ vào việc nhận biết, kiểm soát, theo dõi các thực thể di động và cố định là một việc làm cần thiết. Tuy nhiên việc truyền thông trong một môi trường rộng lớn là một thách thức. Các công nghệ truyền thông không dây thông thường như Wifi, Bluetooth, Zigbee, Zwave là không thể, các công nghệ truyền thông di động (Cellular) gặp nhiều hạn chế về vấn đề khoảng cách, công suất, thời gian sử dụng cũng như chi phí... Sự ra đời của các công nghệ truyền thông LPWAN mang đến các giải pháp thực sự hiệu quả. Trong đó NB IOT và Lora là hai lựa chọn hàng đầu. Chương I sẽ trình bày tổng quan về truyền thông NB IOT, cũng như lý do lựa chọn. Chương II sẽ trình bày về thiết kế cũng như vấn đề quan trọng nhất trong NB IOT là đường tải lên (cấu trúc, các vấn đề gặp phải). Chương III. Phân tích, đánh giá giải pháp và đưa ra kết luận. Cuối cùng là đề xuất mô hình áp dụng vào bài toán ban đầu.

1.1 Công nghệ mạng diện rộng công suất thấp LPWAN

Mạng diện rộng công suất thấp (LPWAN) [16] là các công nghệ không dây với đặc điểm là phạm vi kết nối rộng, băng thông thấp, kích thước gói tin nhỏ và hoạt động trong một khoảng thời gian rất dài mà không cần sạc hay thay thế pin... đáp ứng yêu cầu kết nối đa dạng của các ứng dụng IoT.

Công nghệ LPWA cung cấp các giải pháp kết nối diện rộng các thiết bị công suất thấp và tốc độ dữ liệu thấp. [1] Thị trường LPWAN dự kiến sẽ rất lớn, khoảng 1/4 trong tổng số 30 tỷ thiết bị IoT/M2M được kết nối với Internet bằng mạng LPWAN. Hình 1.1 chỉ ra nhiều ứng dụng trong một số lĩnh vực kinh doanh có thể khai thác các công nghệ LPWA để kết nối thiết bị cuối. Các lĩnh vực kinh doanh này bao gồm:

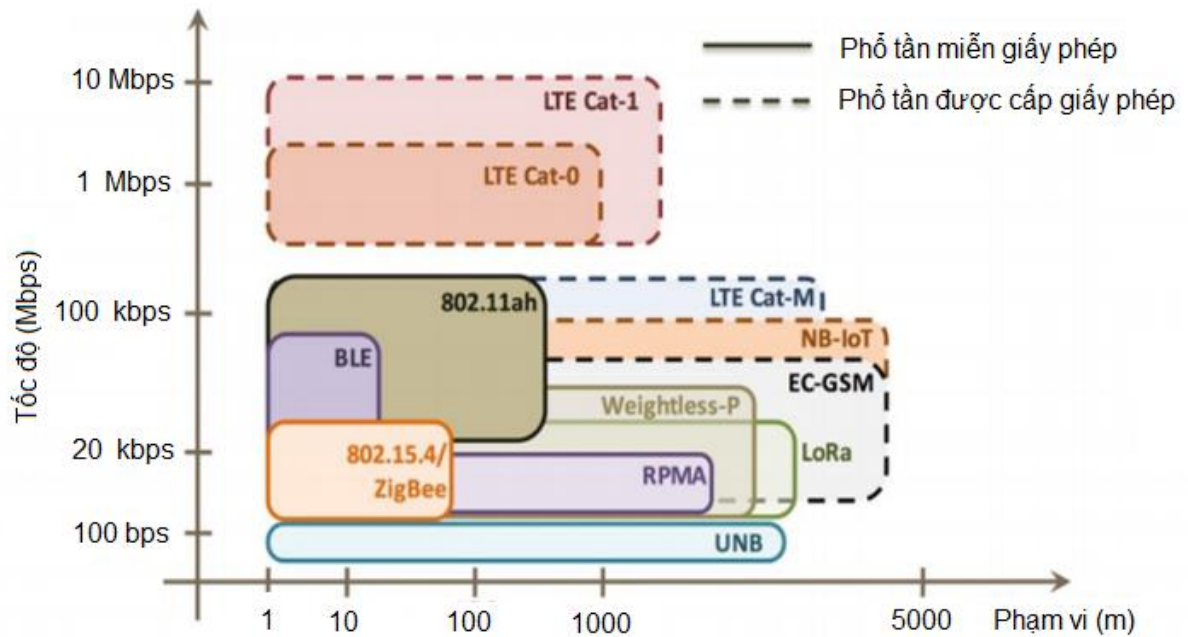
Thành phố thông minh, ứng dụng IoT cá nhân, lưới điện thông minh, đo lường thông minh, hậu cần, giám sát công nghiệp, nông nghiệp, ...



Hình 1.1 Ứng dụng của LPWAN

Mạng LPWAN là mạng chiếm ưu thế nhất trong vấn đề kết nối các thiết bị trong phạm vi địa lý rộng lớn. So với các công nghệ truyền thông không dây khác như ZigBee, Bluetooth, Z-Wave, Wifi, mạng 2G (GSM), 3G, mạng 4G (LTE), v.v. phạm vi của những công nghệ này tối đa được giới hạn trong vài chục mét tới vài km. Việc triển khai các công nghệ này để kết nối các thiết bị IOT trong một thành phố thông minh rất tốn kém. Chưa nói tới vùng sâu vùng xa, hải đảo.... Với phạm vi kết nối từ vài đến hàng chục km và tuổi thọ pin từ mười năm trở lên, công nghệ LPWA hứa hẹn cho việc truyền thông internet của những thiết bị có công suất thấp, chi phí thấp và thông lượng thấp.





Một loạt các công nghệ LPWA cho phép các thiết bị lan truyền và di chuyển trên phạm vi khu vực địa lý rộng lớn (Hình 1.2). Các thiết bị IoT và M2M được kết nối bằng công nghệ LPWA gần như có thể được đặt ở bất kỳ đâu và bất kỳ lúc nào.



Hình 1.2 So sánh các công nghệ truyền thông không dây [16]

Mỗi công nghệ sử dụng các kỹ thuật khác nhau để đạt được phạm vi hoạt động tốt, công suất thấp và khả năng mở rộng cao (Tham khảo bảng 1.1). Có nhiều sự đánh đổi do công nghệ LPWA mang lại nhưng cũng có nhiều thách thức.

Bảng 1.1 Bảng so sánh các công nghệ LPWAN [3]

	 sigfox	 LoRa	 NB-IoT	 LTE-M	EC-GSM-IoT
Công nghệ	SIGFOX	LORA	NB IOT	CAT M	EC-GSM
Công suất	~162dB	~157dB	~164dB	~156dB	~164dB
Tuổi thọ Pin	>10 năm	>10 năm	>10 năm	>10 năm	>10 năm
Phổ tần	Không cần cấp phép	Không cần cấp phép	GSM & LTE (Có bản quyền)	LTE (Có bản quyền)	GSM (Có bản quyền)
Tốc độ	UL: 100bps DL: 500bps	~0.3 - 50kbps	~250kbps.	1Mbps	~10-240kbps
Băng thông	600Hz	125kHz	180kHz	1.4MHz	200kHz
Điều chế	BPSK /GFSK	GFSK, CSS	BPSK, QPSK, 8PSK, 16QAM	QPSK, 16 or 64QAM	GMSK (8PSK)
Giao thức	Sigfox	Semtech	3GPP	3GPP	3GPP
Giấy phép	SIGFOX	Lora Alliance	GCF/PTCRB TBC	GCF/PTCRB TBC	GCF/PTCRB TBC

- Dừng phổ tần không cần cấp phép: Sigfox, Lora
- Dừng phổ tần cần cấp phép: NB IOT, CAT M, EC-GSM...

Đối với các công nghệ không phải là cho mạng thiết bị di động (None Cellular) thì rõ ràng là Lora chiếm ưu thế hơn ở khía cạnh tốc độ và băng thông (Bảng 1.2). Còn đối với các công nghệ còn lại thì có sự khác biệt và phát triển theo tùy mục đích sử dụng.

Bảng 1.2 Bảng so sánh từng công nghệ không dây trong tiêu chuẩn 3GPP [5]

3GPP Cellular	NB IOT (Cat M2)		LTE-MC		EC-GSM
	Đơn tone	Đa tone	Cat 0	Cat M (M1)	
	Release 13	Release 13	Release 12	Release 13	
Băng thông DL	180kHz (12 tone/15kHz)		20Mhz	1.4 Mhz	20kHz
Băng thông UL	180kHz	180kHz	20Mhz	1.4 Mhz	20kHz
Đa truy cập DL	OFDMA		OFDMA		TDMA
Đa truy cập UL	FDMA	SC-FDMA	SC-FDMA		TDMA
Điều chế DL	BPSK, QPSK, 16QAM		QPSK, 16QAM, 64QAM		GMSK
Điều chế UL	P/Q/8PSK	B/Q/16QAM	QPSK, 16QAM		GMSK
Tốc độ đỉnh	DL: 128kbps UL: 48kbps	DL: 128kbps UL: 64kbps	1Mbps		10kbps
Phủ sóng	~164 dB		~141 dB	~156 dB	~164 dB
Tính di động	Hạn chế		Có		Có

Trong đó UL là tải lên (Uplink), DL là tải xuống (Downlink).

Dựa trên hai bảng trên thì rõ ràng với tiêu chí: Tốc độ thấp, thời gian sử dụng dài, tiết kiệm chi phí, không cần di động... thì có 2 công nghệ Lora và NB IOT đang chiếm ưu thế.

1.2 So sánh Lora và NB IOT

1.2.1 Lora

LoRa là công nghệ lớp vật lý ứng dụng trong lĩnh vực công nghiệp, khoa học và băng tần y tế (ISM) và được dựa trên kỹ thuật trải phổ (CSS) được đánh giá cao. CSS là một điều chế tần số tuyến tính băng rộng trong đó tần số sóng mang thay đổi trong một khoảng thời gian xác định. LoRa hoạt động trên các giao thức ALOHA thuần túy và hỗ trợ các tần số ISM khác nhau. 868 MHz (Châu Âu), 915 MHz (Bắc Mỹ) và 433

MHz (Châu Á). Tốc độ truyền dữ liệu được LoRa hỗ trợ thay đổi từ 300 bps đến 50 kbps. LoRa sử dụng phương thức lan truyền bán trực giao và cho phép đồng thời nhiều đường truyền với các hệ số lan truyền khác nhau (SF).

1.2.2 NB IOT

IoT băng thông hẹp (NB-IoT) là công nghệ LPWAN được giới thiệu trong bản 3GPP Release 13 nhằm tạo ra sự linh hoạt của triển khai mạng bằng cách cho phép sử dụng một phần nhỏ của phổ có sẵn trong băng tần 4G (LTE). Là một công nghệ 3GPP, NB-IoT có thể cùng tồn tại với hệ thống di động 2G (GSM) và LTE ở các băng tần được cấp phép là 700 MHz, 800 MHz và 900 MHz. Nó hỗ trợ giao tiếp hai chiều trong đó sử dụng phương thức đa truy cập phân chia theo tần số trực giao (OFDMA) cho đường xuống, và đa truy nhập phân chia theo tần số sóng mang đơn [17] (SC-FDMA) được sử dụng cho đường lên.

ABI Research đã so sánh hai công nghệ này với đầy đủ các thông số công nghệ cho cả LoRaWAN và NB-IoT (Bảng 1.3):

Bảng 1.3 Bảng so sánh NB IOT và Lora [12]

Tham số	LoRaWAN	NB-IoT
Băng thông	125 kHz	180 kHz
Phủ sóng	165 dB	164 dB
Tuổi thọ pin	Trên 15 năm	Trên 10 năm
Dòng tiêu thụ đỉnh	32 mA	120 mA
Tốc độ	~0.3 -50kbps	~250kbps.
Dòng tiêu thụ khi thiết bị Off	1 μ A	5 μ A
Thông lượng	50 Kbps	60 Kbps
Độ trễ	Phụ thuộc vào thiết bị	<10 s
Bảo mật	AES 128 bit	3GPP (128 to 256 bit)
Định vị	Có (TDOA)	Có (In 3GPP Rel 14)
Hiệu suất chi phí	Cao	Trung bình

Nhìn bảng trên thì ưu điểm của LoRaWAN là tiêu thụ ít điện năng hơn so với NB-IoT. Do đó Lora phù hợp với các dự án yêu cầu tiêu thụ năng lượng thấp hơn. LoRaWAN sẽ cung cấp thời lượng pin lâu hơn so với NB-IoT (15+ năm so với 10+

năm). Tuy nhiên khi nói đến băng thông và phạm vi phủ sóng, mọi thứ có thể chia đều cho cả hai. Về mặt ưu điểm NB-IOT thì thông lượng dữ liệu cao nhất cho NB-IoT là 60 Kbps, cao hơn một chút so với LoRaWAN. NB-IoT là một giải pháp an toàn hơn do mã hóa 3GPP 256-bit (so với AES 128-bit cho LoRaWAN). Độ trễ trên NB-IoT thường thấp hơn LoRaWAN. Như được hiển thị trên Bảng 1.3, độ trễ trên LoRaWAN phụ thuộc vào loại thiết bị được sử dụng và đây là điểm hạn chế của công nghệ Lora.



Hình 1.3 So sánh tổng quát các công nghệ

Sự khác biệt khác giữa hai công nghệ là hiệu quả chi phí (Hình 1.3). Các giải pháp LoRa WAN có chi phí vận hành thấp hơn so với NB-IoT do sử dụng phổ tần không được cấp phép và do mức tiêu thụ điện năng thấp hơn. Tham khảo bảng 1.4

Bảng 1.4 Bảng so sánh về công suất tiêu thụ [14]

Tham số	LoRaWAN	NB-IoT
Dòng truyền (Tx)	24-44 mA	74-220 mA
Dòng nhận (Rx)	12 mA	46 mA
Dòng chờ	1.4 mA	6 mA
Dòng ngủ	0.1 μ A	3 μ A

Một số dự án đòi hỏi tốc độ và độ bảo mật cao. Khi đó NB IOT lại là sự lựa chọn ưu tiên. Điều này hoàn toàn phụ hợp với tiêu chí của giả thiết trong luận văn này.

- **Đánh giá về khả năng lưu động:**

Bởi vì các thiết bị LoRaWAN đăng ký với máy chủ mạng (không phải với cổng), thiết bị có thể di chuyển giữa các cổng. Tính di động LoRaWAN chính thức

được hỗ trợ trong phiên bản lớp A, nhưng các thiết bị LoRa di chuyển giữa các cổng vẫn có nguy cơ cao đi vào điểm chết.



Hình 1.4 Yếu tố lưu động

Mặt khác, IoT băng hẹp không được thiết kế để di động (Hình 1.4). Việc thỏa thuận giữa thiết bị NB-IoT và tháp di động chỉ được thực hiện một lần và mặc dù nó có thể buộc thiết bị quét lại và đăng ký vào mạng mới, điều này sẽ yêu cầu nhiều năng lượng hơn, trong trường hợp đó giải pháp LTE-M là phù hợp.

- **Đánh giá về khía cạnh chi phí:**

Bảng 1.5 Bảng so sánh chi phí [14]

Hạng mục	LoRaWAN	NB-IoT
Chip	1~2\$	5~10\$
Thiết bị	4~6\$	6~12\$
Giấy phép	Miễn phí	Nạp trong Chip
Tần số	Dải tần miễn phí (Sub-GHz)	Cấp phép (>1 GHz)

Bảng 1.5 cho thấy Lora có chi phí thấp hơn NB-IOT do sử dụng phổ tần miễn phí và không cần giấy phép.

Bảng 1.6 Bảng so sánh thực tế ứng dụng của 2 công nghệ [14]

Lĩnh vực	Công nghệ
Đo lường thông minh (ga, nước)	Cả hai
Nhà thông minh & thành phố thông minh	NB IOT
Tra cứu tài sản, hàng hóa trong xuất nhập khẩu	Cả hai
Nông nghiệp thông minh	LoRaWAN
Dây chuyền sản xuất & Công nghiệp	Cả hai
Đèn phố và Bãi đỗ xe thông minh	NB-IoT*

Hệ thống điện lưới thông minh	NB-IoT*
Tủ và kệ thông minh (Bán lẻ)	NB-IoT*
Thiết bị đeo & Đồ tìm thú cưng	Cả hai
Giám sát nhà kho	LoRaWAN

Như vậy, nếu dựa vào tiêu chí: Tốc độ cao, độ trễ thấp và bảo mật cao thì NB-IOT là lựa chọn thích hợp (Bảng 1.6). Có thể truyền tải dữ liệu nhiều hơn, mang đến sự an toàn cao hơn. Nhất là trong lĩnh vực an ninh quốc phòng.

1.3 Tiềm năng của công nghệ NB-IOT

Đầu năm 2014, thị trường LPWAN nhanh chóng phát triển nhờ sự xuất hiện của IoT (Internet Of Thing). Nhận thấy nhu cầu và tiềm năng của giao tiếp mới, 3GPP đã bắt đầu nghiên cứu sự khả thi về hỗ trợ hệ thống di động cho một giải pháp IoT có độ phức tạp cực thấp và thông lượng thấp được gọi là IoT di động. Vào tháng 5 năm 2014, Huawei và Vodafone đã đề xuất giải pháp kết nối băng hẹp giữa các máy móc (NB-M2M) [13] lên 3GPP như một mục nghiên cứu để đáp ứng nhu cầu của thị trường IoT. Qualcomm đề xuất ghép kênh phân chia tần số trực giao băng hẹp (NB-OFDM).

Vào tháng 5 năm 2015, 3GPP đã hợp nhất hai đề xuất (tức là NB-M2M và NB-OFDM) và hình thành IoT di động băng hẹp (NB-CIoT). Tám tháng sau, Ericsson đề xuất NB-LTE (4G băng thông hẹp). Vào tháng 9 năm 2015, 3GPP đã hợp nhất tất cả các đề xuất và tóm gọn trong Phiên bản release 13. Sự khác biệt chính giữa NB-CIoT và NB-LTE là số lượng tài nguyên mạng LTE cũ được tái sử dụng để hỗ trợ khả năng tương tác. Vào tháng 6 năm 2016, khái niệm NB-IoT đã được công nhận và phát triển từ đó đến nay.

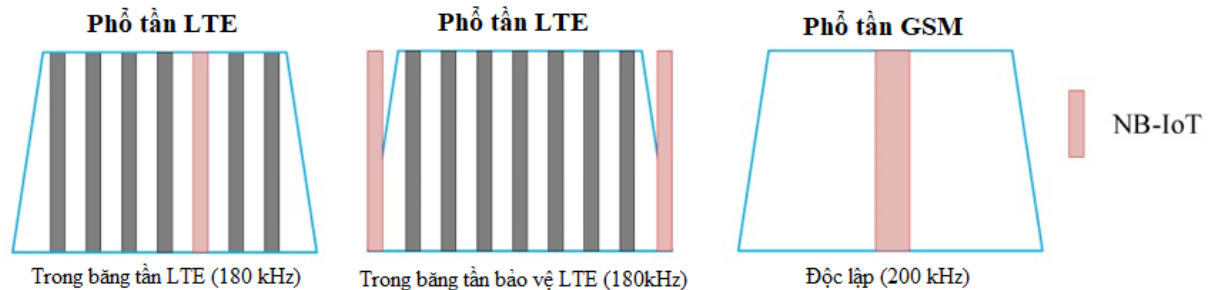
Mặt khác, việc triển khai NB-IOT hoàn toàn có thể tận cơ sở hạ tầng có sẵn như 2G, 4G (LTE)... Rõ ràng là NB-IOT có một tiềm năng lớn về sự phát triển bền vững và được hỗ trợ bởi nhiều nhà mạng và công ty sản xuất chip lớn trên thế giới.

1.4 Mục tiêu thiết kế của NB-IOT trong các bản phát hành

1.4.1 Bản phát hành 13

❖ Chế độ hoạt động

Với yêu cầu băng thông hạn chế, NB-IoT có thể được triển khai ở ba chế độ khác nhau: Độc lập, trong băng tần và băng tần bảo vệ, như được mô tả trong Hình 1.5



Hình 1.5 Phổ tần NB IOT [7]

❖ Hỗ trợ truyền dẫn đa tone

Để đạt được mục tiêu triển khai với số lượng thiết bị lớn, NB-IoT giới thiệu việc phân bổ Đơn vị tài nguyên (RU) cho nhiều Thiết bị người dùng (UE). Đối với đường tải lên, mỗi tone có thể chiếm 3,75 kHz hoặc 15 kHz băng thông truyền dựa trên nguyên lý Đa truy nhập phân chia tần số sóng mang đơn (SC-FDMA). Đối với đường xuống NB-IoT sử dụng tone truyền dẫn 15 kHz với nguyên lý OFDM.

❖ Công nghệ giảm chi phí, độ phức tạp

NB-IoT được yêu cầu phải có độ phức tạp thấp để đạt được mục tiêu chi phí thấp để tạo điều kiện cho các kết nối lớn. NB-IOT xử lý băng tần gốc, bộ nhớ lưu trữ thấp và các thành phần tần số vô tuyến (RF) giảm. Ngoài ra, NB-IoT sử dụng các sơ đồ điều chế BPSK và QPSK bị hạn chế với chỉ một ăng-ten hỗ trợ.

❖ Phương pháp giảm năng lượng

Các thiết bị NB-IoT được dự định sẽ có tuổi thọ pin 10 năm để hỗ trợ triển khai quy mô lớn với sự can thiệp hạn chế của con người. Về vấn đề này, hai tính năng Chế độ tiết kiệm năng lượng (PSM), Chế độ tiếp nhận không liên tục mở rộng (eDRx) đã được hỗ trợ. Sử dụng Đồng hồ thời gian thực (RTC) để kích hoạt.

1.4.2 Bản phát hành 14

Các tính năng cải tiến trong Bản phát hành 14 bao gồm cập nhật định vị, dịch vụ đa hướng và lớp công suất đầu ra UE mới trong đó thông lượng hệ thống NB-IoT, tính di động, tính liên tục của dịch vụ và được cải thiện.

❖ Kỹ thuật định vị được cải tiến

3GPP Release 14 giới thiệu một phương pháp định vị trong nhà tiên tiến liên quan đến sự chênh lệch thời gian từ UE đến các trạm phát lân cận (OTDOA) cho NB-IoT để nâng cao khả năng đo lường vị trí của UE về nhận dạng tế bào (CID). Trong phương pháp OTDOA, UE đo thời gian đến (ToAs) của tín hiệu tham chiếu định vị (PRS) nhận được từ các máy phát khác nhau liên quan đến đường truyền PRS của nút tham chiếu để tạo thành phép đo chênh lệch thời gian tín hiệu tham chiếu (RSTD). Trong CID nâng cao, các yêu cầu đo lường bao gồm chênh lệch thời gian nhận (Rx) và phát (Tx) của trạm gốc, công suất nhận tín hiệu tham chiếu (RSRP) và chất lượng nhận tín hiệu tham chiếu (RSRQ).

❖ Dịch vụ đa hướng

Mục tiêu chính của cơ chế này là tối ưu hóa tài nguyên cũng như độ trễ truyền bằng cách giải quyết dữ liệu tới một nhóm các UE cùng một lúc thay vì gửi nhiều lần đến các thiết bị riêng biệt. Dịch vụ đa phương tiện phát sóng đa hướng (MBMS) được hỗ trợ thông qua nguyên lý điểm-tới-đa điểm trong một ô (SC-PTM). SC-PTM sử dụng NPDSCH bằng cách ánh xạ Kênh điều khiển MBMS trong một ô (SC-MCCH) và Kênh lưu lượng MBMS trong một ô (SC-MTCH) mang tín hiệu điều khiển và lưu lượng dữ liệu đến lớp vật lý được lập lịch bằng cách sử dụng thông tin điều khiển đường xuống (DCI) .

❖ Giảm mức năng lượng cho thiết bị người dùng

Thay vì hai cấp công suất (tức là 20 dBm và 23 dBm), công suất đầu ra tối đa cho phép của thiết bị được giảm xuống còn 14 dBm. Điều này làm giảm vùng phủ sóng là 9 dB tương ứng với 155 dB MCL so với 164 dB MCL và do đó làm giảm lưu

lượng. Việc sử dụng loại năng lượng mới tạo điều kiện cho việc sử dụng pin khuy áo nhỏ.

❖ Hỗ trợ kích thước khối truyền tải lớn hơn

Bản phát hành 3GPP 14 giới thiệu danh mục thiết bị NB-IoT mới hỗ trợ tốc độ dữ liệu được cải thiện bằng cách tăng kích thước khối truyền tải (TBS) lên 2536 bit. Có thể đạt được các tốc độ dữ liệu này nhờ khả năng hỗ trợ quy trình Lai ghép tự động các yêu cầu lặp lại (HARQ) lần hai.

❖ Hoạt động đa sóng mang

Để cho phép triển khai NB-IoT quy mô lớn, NB-IoT có thể giám sát việc phân trang và thực hiện truy cập ngẫu nhiên trên các sóng mang không neo. Với tính năng này, một hoặc nhiều sóng mang không neo được thêm vào sóng mang neo để thực hiện các phép đo đồng bộ và di động bằng cách sử dụng NRS. Các sóng mang không neo cũng nên thực hiện truy cập hoặc phân trang ngẫu nhiên khi cần thiết và thiết lập lại việc kiểm soát tài nguyên vô tuyến (RRC) cho thiết bị người dùng NB-IoT.

1.4.3 Bản phát hành 15

❖ Giảm độ trễ

NB-IoT hỗ trợ các tính năng mới để giảm hơn nữa độ trễ truyền, mức tiêu thụ điện năng tiêu thụ trong các yêu cầu truyền dài. Về mặt này, NB-IoT UE hiện có thể hỗ trợ Yêu cầu lập lịch lớp vật lý (SR), là một thông báo lớp vật lý đặc biệt, để yêu cầu mạng gửi quyền truy cập (định dạng DCI 0) để UE có thể truyền dữ liệu đường lên. Việc phát hành RRC nhanh và truyền dữ liệu sớm trong quy trình kênh truy cập ngẫu nhiên (RACH) được hỗ trợ để giảm độ trễ truyền UE và tiêu thụ điện năng ít hơn.

❖ Lập lịch bán cố định

Để cho phép hỗ trợ dịch vụ tin nhắn thoại tốt hơn, tính năng lập lịch bán liên tục (SPS) đã được giới thiệu. Theo nguyên tắc, trạm gốc cấu hình trước cho UE mã nhận dạng mạng vô tuyến tạm thời (SPS-RNTI), cái này để phân biệt cụ thể một kênh

vô tuyến NB-IoT UE khác hoặc với một kênh vô tuyến khác. SPS này cho phép nhận dữ liệu NB-IoT tại ở một chu kỳ được định cấu hình thông thường.

❖ Hỗ trợ ô nhỏ

NB-IoT hỗ trợ triển khai các ô nhỏ. NB-IoT UE không được phép truyền nhiều công suất hơn công suất tối đa đã được cấu hình, ngay cả khi công suất được cấu hình thấp hơn khả năng tối đa của UE. Điều này được thực hiện để tránh nhiễu. Mặt khác, để mở rộng kết nối IoT, đặc biệt là ở các khu vực nông thôn và vùng sâu vùng xa cho các trường hợp sử dụng như nông nghiệp, hậu cần và giám sát môi trường, NB-IoT có thể hỗ trợ phạm vi lên đến 100 km.

❖ Các phép đo thiết bị người dùng nâng cao

Giống như trong các hệ thống LTE cũ, các phép đo UE rất quan trọng vì nó được sử dụng để mô tả tín hiệu tham chiếu của một băng thông nhất định. Trong Phiên bản 15, các phép đo UE được cải tiến, qua đó việc tìm kiếm tế bào và thu nhận tế bào ban đầu được cải thiện.

❖ Hỗ trợ song công phân chia theo thời gian (TDD)

Đối với cả khoảng cách 3,75 kHz và 15 kHz, một số hạn chế cụ thể được đưa ra, tức là chỉ hỗ trợ tiên tố chu kỳ bình thường cho truyền NB-IoT. Để hỗ trợ một số cấu hình TDD với ít khung con đường xuống, một số thông tin hệ thống (SI) có thể được truyền trên các sóng mang không neo. Bằng cách này, UE sẽ giảm thời gian thu thập và tìm kiếm thông tin hệ thống, giảm sự khác biệt của UE và kiểm soát truy cập.

1.4.4 Bản phát hành 16

❖ Quyền truy cập miễn phí

Hầu hết mức tiêu thụ điện năng diễn ra trong thời gian hoạt động của NB-IoT UE (Tx và Rx). UE được dự kiến sẽ truyền trong chế độ RRC-Idle thông qua tin nhắn 3 (yêu cầu kết nối RRC) mà không cần cấp quyền truy cập. Một UE ở chế độ kết nối RRC có thể truyền dữ liệu mà không cần cấp quyền. Người ta cũng đề xuất nghiên cứu

thêm các dạng sóng tín hiệu khác (FDMA) yêu cầu ít trực giao hơn với việc căn chỉnh thời gian trước (TA) thoải mái hơn so với SC-FDMA.

❖ Truyền đồng thời nhiều người dùng

Việc giới thiệu các lược đồ mới cho phép truyền đồng thời nhiều người dùng bằng cách sử dụng tài nguyên được chia sẻ trong miền thời gian và tần số, chẳng hạn như ghép kênh phân chia mã (CDM) và đa người dùng đầu vào nhiều đầu ra (MU-MIMO), mà không làm tăng số lượng ăng ten tại UE.

1.5 Các tham số đánh giá hiệu năng NB-IOT

1.5.1 SINR

SINR đại diện cho tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu với tạp âm. SINR biểu thị tỷ số giữa công suất tín hiệu với công suất nhiễu không mong muốn. Nhiễu không mong muốn bao gồm tất cả nhiễu can thiệp bên ngoài và nhiễu tạo ra bên trong. Chỉ số SINR thường được sử dụng làm thước đo chất lượng của kết nối không dây trong truyền thông không dây. SINR càng cao, tín hiệu trung gian càng tốt, môi trường kênh càng tốt thì tốc độ truyền càng cao.

1.5.2 Thông lượng

Thông lượng biểu thị lượng dữ liệu được truyền qua mạng trên một đơn vị thời gian. Nó là một chỉ số quan trọng về hiệu suất mạng. Thông lượng càng cao thì lượng truyền trên một đơn vị thời gian càng lớn. Đơn vị của thông lượng là kbps.

1.5.3 Tỷ lệ mất gói

Tỷ lệ mất gói là tỷ số giữa số gói bị mất trên tổng số gói được gửi trong đơn vị thời gian. Tỷ lệ này cho biết liệu dữ liệu có bị mất khi truyền hay không và bao nhiêu trong tổng số truyền bao gồm dữ liệu bị mất. Chỉ số tỷ lệ mất gói phản ánh chất lượng

kết nối mạng và tính toàn vẹn của truyền dữ liệu. Tỷ lệ mất gói càng thấp thì chất lượng kết nối mạng càng cao, dữ liệu truyền tải càng nhanh và đầy đủ.

1.5.4 Tính tin cậy của khối truyền tải

Tính tin cậy của khối truyền tải (TB) là tỷ lệ chính xác của khối dữ liệu nhận được. Tỷ lệ chính xác của khối dữ liệu đã nhận thể hiện xác suất trung bình của việc chấp nhận thành công dữ liệu sau cơ chế truyền lại. Độ tin cậy của TB càng cao thì việc truyền dữ liệu càng hiệu quả và cơ chế truyền lại càng hiệu quả. Do đó, chỉ tiêu về tính tin cậy của TB phản ánh hiệu suất truyền dữ liệu của hệ thống.

1.5.5 Suy hao

Suy hao là giá trị của năng lượng tín hiệu bị mất. Lượng suy hao do xây dựng các chướng ngại vật trên đường truyền. Lượng suy hao càng lớn thì ảnh hưởng của tòa nhà đến việc truyền tín hiệu càng lớn. Chỉ báo suy hao phản ánh sự suy giảm của năng lượng tín hiệu, và sự suy giảm tín hiệu quá mức ảnh hưởng đến độ dài truyền của tín hiệu.

Kết luận chương 1

Chương 1 đã trình bày các khái niệm cơ bản về công nghệ truyền thông không dây công suất thấp diện rộng LPWAN và so sánh ưu nhược điểm giữa các công nghệ. Với yêu cầu của bài toán đặt ra ban đầu thì có hai công nghệ LPWAN đáp ứng tốt tiêu chí về công suất và thời gian sử dụng đó là Lora và NB-IOT. Tuy chi phí đắt hơn, dòng tiêu thụ cao hơn nhưng NB-IOT có tốc độ truyền tải cao hơn, độ trễ thấp hơn và quan trọng là bảo mật cao hơn. Do đó giải pháp NB-IOT là lựa chọn trong luận văn này. Các tiêu chí thiết kế trong các bản phát hành 13, 14, 15 và 16 cũng được trình bày chi tiết trong chương I. Nội dung chương 2 sẽ trình bày về thiết kế đường tải lên máy thu và đánh giá các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu năng mạng.

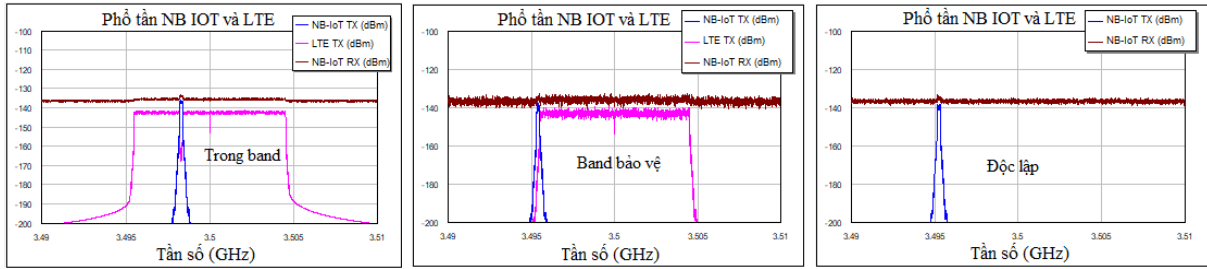
CHƯƠNG II

THIẾT KẾ ĐƯỜNG TẢI LÊN MÁY THU NB IOT

2.1 Nghiên cứu về thiết kế máy thu trong kênh NPRACH

Thiết kế máy thu trong NB-IOT nói chung, mang ý nghĩa quan trọng vì tuổi thọ thiết bị phụ thuộc nhiều vào công suất phát đường tải lên. Để đạt được mục tiêu thiết kế thì vấn đề nghiên cứu thiết kế máy thu là cần thiết. Đặc biệt là 3 kênh vật lý đường tải lên: Kênh truy cập ngẫu nhiên NPRACH, Kênh dữ liệu và điều khiển NPUSCH.

Như chương I, NB-IOT có thể hoạt động ở 3 chế độ (Hình 2.1)



Hình 2.1 Các chế độ hoạt động NB IOT (Đường lên)

Sơ đồ nguyên lý các chế độ ở hình 2.1 có thể tham khảo trong phần phụ lục.

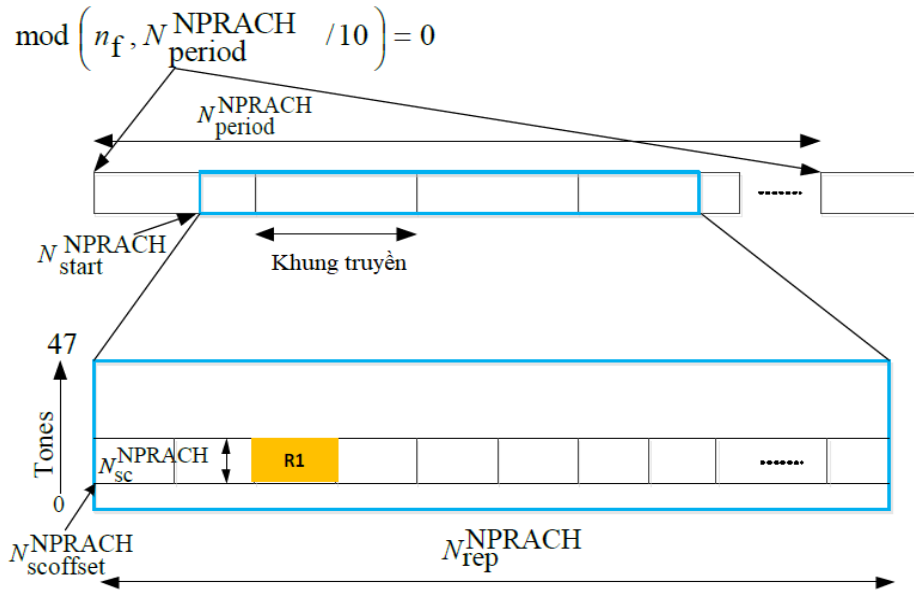
2.1.1 Thiết kế máy thu NPRACH

Truyền phân mở đầu truy cập ngẫu nhiên [6] là bước đầu tiên của quy trình truy cập ngẫu nhiên cho phép thiết bị người dùng (UE) thiết lập kết nối với mạng. Ngoài việc phát hiện phân mở đầu chính xác, ước tính thời gian đường lên là một mục tiêu khác của máy thu NPRACH. Các tham số NPRACH bắt buộc được cấu hình bởi các lớp cao hơn được minh họa trong Hình 2.2 và được định nghĩa là:

1. $N_{\text{period}}^{\text{NPRACH}}$ (3 bits, thời hạn NPRACH) $\in \{40, 80, 160, 240, 320, 1280, 2560\}$ tính bằng mili giây tương ứng với khoảng thời gian NPRACH trong đó UE có thể truy cập ngẫu nhiên.
2. $N_{\text{rep}}^{\text{NPRACH}}$ (3 bits, Số lần lặp lại NPRACH) $\in \{1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128\}$ tương ứng với NPRACH phân mở đầu lặp lại.

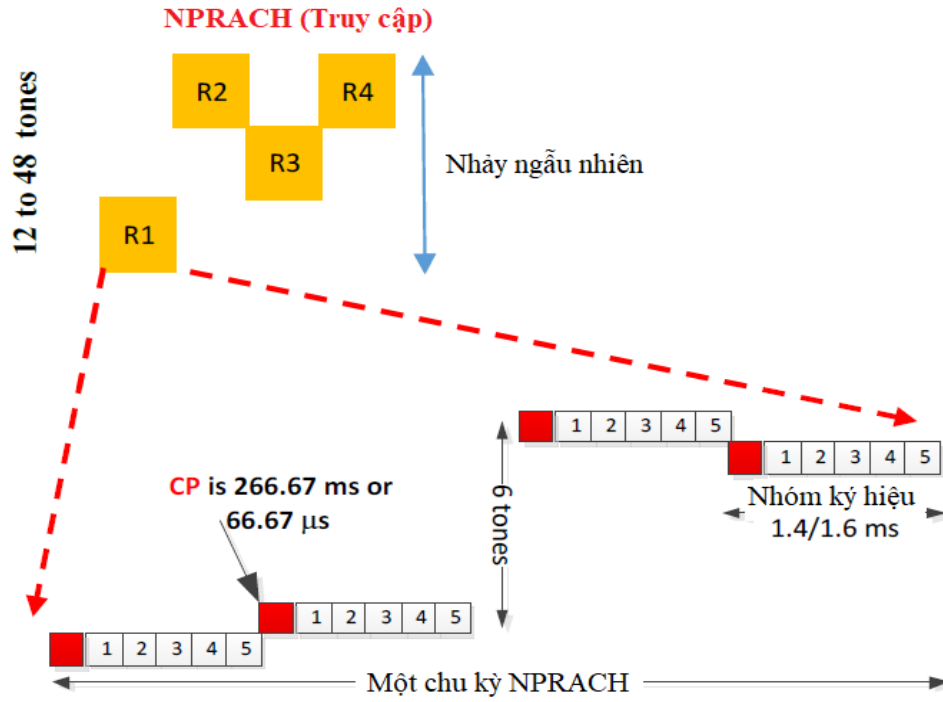
3. $N_{\text{sc}}^{\text{NPRACH}}$ (3 bits, Độ lệch sóng mang con) $\in \{0, 12, 24, 36, 2, 18, 34\}$ tương ứng với độ lệch sóng mang con trong bảng thông 180kHz.
4. $N_{\text{sc}}^{\text{NPRACH}}$ (2 bits, Số lượng sóng mang con) $\in \{12, 24, 36, 48\}$ tương ứng với số lượng sóng mang con đang được sử dụng để truy cập ngẫu nhiên.
5. $N_{\text{start}}^{\text{NPRACH}}$ (3 bits, Thời gian bắt đầu) $\in \{8, 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024\}$ tính bằng mili giây. Điều này tương ứng đến thời điểm bắt đầu truyền NPRACH là $N_{\text{start}}^{\text{NPRACH}}$ khung con sau khung con đầu tiên trong khung radio hoàn thành $\text{mod} \left(n_f, \frac{N_{\text{period}}^{\text{NPRACH}}}{10} \right) = 0$

Kênh NPRACH chỉ sử dụng các sóng mang phụ có độ rộng 3,75KHz và có một nhóm ký hiệu, mỗi nhóm gồm 5 ký hiệu với tiền tố chu kỳ (CP). Mỗi cơ hội truy cập ngẫu nhiên NPRACH trong một nguồn NPRACH bị giới hạn bởi 12 sóng mang phụ, có thể lặp lại tới 128 lần. Để giảm phần mở đầu liên quan tới CP, N mẫu ký hiệu OFDM được lặp lại 5 lần và một CP duy nhất có độ dài N_{CP} được thêm vào một nhóm ký hiệu. Có hai định dạng NPRACH, bao gồm định dạng 0 và định dạng 1 được định nghĩa cho NB-IoT với N_{CP} tương ứng là 66,7 μs và 266,7 μs .



Hình 2.2 Cấu trúc kênh NPRACH [6]

Để tạo điều kiện thuận lợi cho việc ước tính thời gian đường tải lên tại eNB, phần mở đầu của các Tones đơn nhảy qua các sóng mang con khác nhau (Hình 2.3).



Hình 2.3 Bước nhảy trong NPRACH [6]

NB-IoT có cùng ranh giới ký hiệu OFDM với LTE. Nghĩa là, trong khung con đã cho, ký hiệu 0,7 có 128 mẫu dữ liệu với 10 mẫu CP, và tất cả các ký hiệu khác (tức là 1 đến 6 và 8 đến 14) có 128 mẫu dữ liệu với 9 mẫu CP với tần số lấy mẫu $f_s = 1,92$ MHz. Không có tốc độ lấy mẫu nào dưới 1,92 MHz mà luôn có thể phù hợp với ranh giới ký hiệu OFDM, tức là có một số nguyên lần mẫu cho cả CP và dữ liệu. Điều này có nghĩa là nếu tốc độ lấy mẫu đầu vào thấp hơn được sử dụng, thì cần nội suy miền thời gian để điều chỉnh cho độ lệch thời gian lấy mẫu khác. Lấy mẫu ở tần số 240kHz sẽ yêu cầu phân rã 4 với hai bộ lọc đáp ứng xung hữu hạn. Độ phức tạp của việc xử lý các mẫu ở 1,92MHz hoặc 240kHz là rất giống nhau. Tốc độ lấy mẫu đối với PRACH được giả định là $f_s = 1,92$ MHz. Kết quả dưới đây dựa trên [18]. Đặt $S_{m,i}[n]$ là ký hiệu truyền dẫn tại sóng mang phụ $n_{sc}^{RA}(m)$ của nhóm ký hiệu m^{th} với $N_{m,i} = mN_g + jN$ khi $S_{m,i}[n]$ là dạng sóng trong miền thời gian tại mẫu thứ n^{th} của ký hiệu thứ i^{th} trong nhóm ký hiệu thứ m^{th} . Ta có công thức tính $S_{m,i}[n]$:

$$S_{m,i}[n] = e^{j2\pi n_{sc}^{RA}(m)n/N} \quad (2.1)$$

Với

$$n = N_{m,i} - N_{CP}, \dots, N_{m,i} + N - 1 \quad (2.2)$$

N_{CP} là kích thước của CP (16 mẫu tại tần số $f_s = 240\text{kpsps}$). N là kích thước của một ký hiệu (64 mẫu tại $f_s = 240\text{kpsps}$), N_g là kích thước của một nhóm ($N_{CP} + 5N = 336$ mẫu tại tần số $f_s = 240\text{kpsps} = 1.4\text{ms}$). Tín hiệu nhận được có thể được viết dưới dạng công thức sau:

$$y_{m,i}(n) = h_{m,i} e^{j2\pi\xi(n-\tau)} s_{m,i}[n-\tau] = h_{m,i} e^{j2\pi\xi(n-\tau)} e^{j2\pi n_{SC}^{RA}(m)(n-\tau)/N} \quad (2.3)$$

Với ξ là độ lệch tần số được chuẩn hóa với tần số lấy mẫu. τ là độ trễ khứ hồi (RTD) được chuẩn hóa với thời lượng ký hiệu. $h_{m,i}$ là hệ số kênh tại mẫu lần thứ i^{th} của nhóm ký hiệu m^{th} và $j = \sqrt{-1}$. Độ sụt CP và việc lấy FFT được cho bởi công thức sau:

$$Y_{m,i}[k] = \sum_{n=N_{m,i}}^{N_{m,i}+N-1} y_{m,i}[n] e^{-j2\pi nk/N} \quad (2.4)$$

Với $k = n_{SC}^{RA}(m)$ và $Y_{m,i}$ được tính bởi công thức:

$$Y_{m,i} = \frac{h_{m,i} e^{j2\pi\xi(mN_g + iN - \tau)} e^{-j2\pi n_{SC}^{RA}(m)\tau/N} (1 - e^{j2\pi\xi N})}{1 - e^{j2\pi\xi}} \quad (2.5)$$

Nhiều trong một nhóm ký hiệu m có thể được tính là:

$$N_m = |Y_{m,0} - Y_{m,1}|^2 + |Y_{m,3} - Y_{m,4}|^2 \quad (2.6)$$

Vấn đề là ước tính hai ẩn số, độ lệch tần số ξ và RTD τ bằng cách sử dụng tất cả các ẩn số có sẵn Y_m .

➤ Ước tính và hiệu chỉnh độ lệch tần số

Đầu tiên, τ bị loại bỏ trong phương trình (2.6) và độ lệch tần số ξ được ước tính bằng cách khai thác ký hiệu kết hợp giữa các nhóm và lặp lại. Hướng tới mục tiêu này,

các bước sau được thực hiện. Xác định tích của nhóm ký hiệu m với $m \in \{0,1,2,3\}$ và liên hợp của nhóm ký hiệu $m + 1$ là:

$$Z_m = Y_m \text{conj}(Y_{\text{mod}(m+1,4)}) \alpha e^{-j2\pi\xi N_g} e^{j2\pi H_m \tau / N} \quad (2.7)$$

Ở đây, mô hình nhảy H_m được định nghĩa là:

$$H_m = n_{SC}^{RA}(m+1) - n_{SC}^{RA}(m) \quad (2.8)$$

Với $H_3 = n_{SC}^{RA}(0) - n_{SC}^{RA}(3)$

Tiếp theo việc kết hợp giữa các nhóm ký hiệu trong bước nhảy bên trong (với $m \in \{0,1\}$) chúng ta có:

$$X_{m1} = Z_m + Z_{m+2} \alpha e^{-j2\pi\xi N_g} \cos(2\pi\tau / N) \quad (2.9)$$

Kết hợp giữa các lần lặp lại (hoặc qua bước nhảy bên ngoài) và số lượng ăng-ten thu cho bởi công thức:

$$W_1 = \sum_{m \in \{0,4,\dots,4(R-1)\}} X_{m1} \alpha e^{-j2\pi\xi N_g} \quad (2.10)$$

Trong đó R là số lần lặp lại NPRACH được cấu hình bởi các lớp trên. Trong phương trình trên, tổng W_1 có thể vượt quá số lượng anten thu N_{rx} và $R = N_{Rep}^{PRACH}$.

Tương tự, chúng ta có thể tính W_2 theo công thức:

$$W_2 = \sum_{m \in \{0,4,\dots,4(R-1)\}} X_{m2} \alpha e^{-j2\pi\xi N_g j \sin(2\pi\tau / N)} \quad (2.11)$$

Với

$$X_{m2} = \begin{cases} Z_m - Z_{m+2} & \text{với } H_m = 1 \\ Z_{m+2} - Z_m & \text{với } H_m = -1 \end{cases} \quad (2.12)$$

Lưu ý rằng tính toán W_2 có thể không cần thiết nếu dự đoán độ lệch tần số không cao. Ví dụ, với $\xi = 200\text{Hz}$, góc quay trên một nhóm ký hiệu có kích thước N_g là ≈ 101 độ. Đối với các giá trị nhỏ hơn của ξ , chỉ tính toán W_1 là đủ và có thể làm giảm độ phức tạp tính toán với tổn thất về hiệu suất. Để ước lượng độ lệch tần số độc lập với τ , chúng ta có công thức:

$$W = |W_1| \times W_1 - j|W_2| \times W_2 \quad (2.13)$$

Độ lệch tần số ξ , có thể được ước tính bằng cách tính góc W theo công thức:

$$\xi = -\frac{1}{2\pi N_g} \arctan(W) \quad (2.14)$$

Lưu ý rằng độ lệch tần số tối đa có thể được ước tính bằng phương pháp trên tương ứng với $\xi_{\max} = \pm \frac{1}{2N_g} = \pm \frac{1}{2 \times 1.4\text{ms}} \approx 357\text{Hz}$ cao hơn cài đặt độ lệch tần số 200Hz cho RAN4 cái mà được chỉ định cho yêu cầu phát hiện NPRACH bị lỗi. Lưu ý rằng độ lệch tần số không cần được tính toán rõ ràng. Pha tương ứng với độ lệch tần số có thể được tính là:

$$\frac{W}{|W|} = e^{-j2\pi\xi N_g} \quad (2.15)$$

Điều chỉnh độ lệch tần số ước tính nhận được theo công thức:

$$V_m = Z_m e^{j2\pi\xi N_g} \alpha e^{j2\pi H_m \tau / N} \quad (2.16)$$

➤ Ước tính trễ

Ta có công thức:

$$U_{4r+n} = \begin{cases} V_{4r+n} & \text{khi } H_{4r+n} = H_n \\ V_{4r+n}^* & \text{khi } H_{4r+n} = -H_n \end{cases} \quad (2.17)$$

Với $n \in \{-1, +1, 6\}$ trình tự nhảy có thể có và tính tổng qua các lần lặp lại r , ta có công thức:

$$T_n = \sum_{r=0,1,\dots,R} U_{4r+n} \alpha e^{j2\pi\alpha n \tau / N} \quad (2.18)$$

Biến đổi T_n sao cho $\alpha_0 = -1$, $\alpha_1 = 6$, $\alpha_2 = 1$ và $\alpha_3 = -6$. Đối với mỗi cơ hội NPRACH nhất định (được tham số hóa bởi sóng mang con của nhóm ký hiệu đầu tiên $\rho = n_{SC}^{RA}(0)$ từ vector dạng $F_p = [-T_3 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ T_0 \ 0 \ T_2 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ T_1 \ 0 \ \dots \ \dots 0]$ với kích thước

N_τ là kích thước FFT được sử dụng để ước tính. RTD có thể được ước tính bằng cách sử dụng công cụ ước lượng ML dựa trên FFT. Ta đặt:

$$Q_v = \sum_{s=0}^{N_\tau-1} F_p(s) e^{\frac{-j2\pi s}{N_\tau}} \quad (2.19)$$

và

$$G_v = \sum_{N_{rx}} |Q_v|^2 \quad (2.20)$$

Giả thuyết vector thời gian G_v tương ứng với giá trị tuyệt đối lớn nhất là ước lượng RTD.

$$[m_{\max}, idx_{\max}] = \arg \max_{[0, N_\tau]} \{G_v\} \quad (2.21)$$

Ước tính RTD có thể được tính bằng cách sử dụng chỉ số FFT (idx_{\max}) tương ứng với giá trị lớn nhất m_{\max} khi $\tilde{\tau} = \frac{idx_{\max}}{N_\tau * (3.75) \text{ kHz}}$. Sử dụng $N_\tau = 256$ sẽ cho chu kỳ là

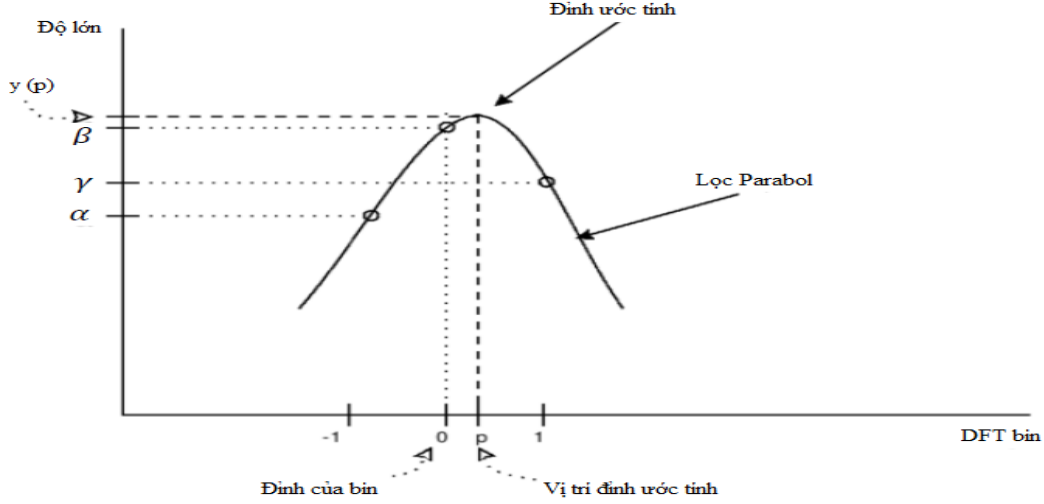
1.04 (us). Giả sử rằng độ lệch thời gian sẽ nằm trong CP và thời gian lỗi là $\pm 7 \times 16 T_s$, giá trị tối đa được lấy sau khi loại bỏ các giá trị 0 ở đầu ra phép biến đổi Fourier nhanh (FFT) tương ứng với độ lệch thời gian bên ngoài cửa sổ lọc được xác định bởi kích thước CP và thời gian lỗi. Phép nội suy bậc hai xung quanh giá trị lớn nhất sẽ tính ra chu kỳ tốt hơn trong việc ước tính thời gian (nhưng có thêm độ phức tạp tính toán). Gọi các giá trị của G_v tại $m_{\max} - 1, m_{\max}, m_{\max} + 1$ lần lượt là α, β và γ . Giá trị lớn nhất sau khi so sánh ngưỡng được cung cấp bởi công thức:

$$G^* = y(p) = \beta - \frac{1}{4}(\alpha - \gamma) \times p \quad (2.22)$$

Với $p = \frac{\frac{1}{2}(\alpha - \gamma)}{\alpha - 2\beta + \gamma}$. Ước tính RTD có thể được căn chỉnh sau khi sử dụng nội

suy $\tilde{\tau} = \frac{idx_{(\max)} + p}{N_\tau * (3.75) \text{ kHz}}$ (Hình 2.4). Đối với 128 lần lặp lại (Dựa trên phân tích liên kết

cho NPRACH trong các ô nhỏ), phép biến đổi FFT ở đầu ra của hai ăng-ten thu và nhóm 64 lần lặp lại được kết hợp không chặt chẽ trước khi xác định mức tối đa.



Hình 2.4 Nội suy đa thức xung quanh FFT bin với giá trị lớn nhất

➤ Phát hiện tín hiệu

Phát hiện tín hiệu NPRACH hoặc DTX được xác định dựa trên việc so sánh số liệu G^* chuẩn hóa với nhiễu được tính trung bình trên các nhóm ký hiệu, số lần lặp lại và ăng-ten với một giá trị ngưỡng $\varepsilon_{\text{NPRACH}}^R$. Ở đây $\varepsilon_{\text{NPRACH}}^R$ là hằng số được xác định bằng thực nghiệm bằng cách gửi tín hiệu 0 (DTX) và tính giá trị chuẩn hóa (chuẩn hóa với công suất nhiễu) của G^* trên một số khung DTX. Hàm phân phối xác suất tích lũy (CDF) của các giá trị quan sát G^* đưa ra xác suất của các giá trị của G^* . Ngưỡng $\varepsilon_{\text{NPRACH}}^R$ được xác định từ CDF bằng cách tìm giá trị của G^* xảy ra với xác suất 99,9% (tương ứng với tỷ lệ dự báo sai là 0,1%). Việc phát hiện trên sóng mang phụ p như sau:

$$\lambda = \frac{G^*}{\frac{1}{N_{\text{rx}} 4R} \sum_{r=0}^R \sum_{m=0}^3 N_m} \quad (2.23)$$

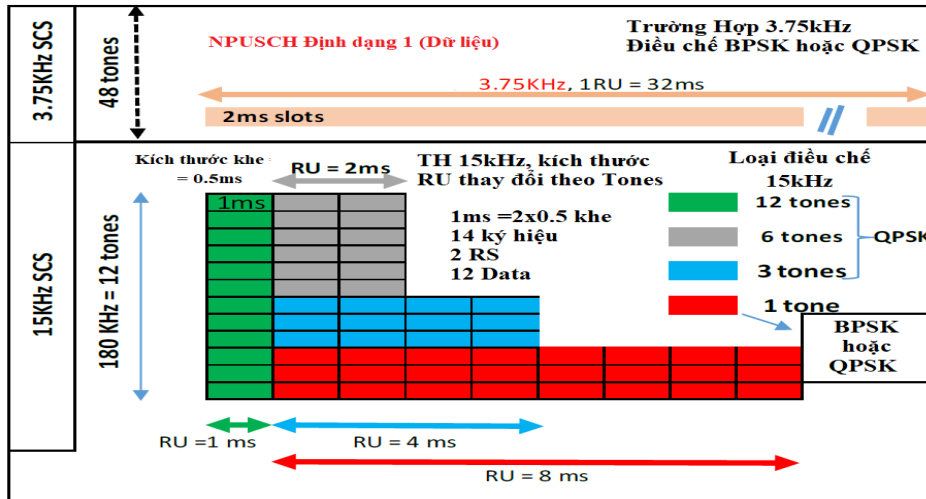
và

$$n_{\text{SC}}^{\text{RA}}(p) = \begin{cases} \text{NPRACH} & \text{khi } \lambda \geq \varepsilon_{\text{NPRACH}}^R \\ \text{DTX} & \text{khi } \lambda < \varepsilon_{\text{NPRACH}}^R \end{cases} \quad (2.24)$$

Đối với sóng mang phụ p mà tín hiệu NPRACH được phát hiện, $SNR_p = \lambda$ có thể được chia sẻ lên các lớp trên để lập lịch hoặc dùng cho thuật toán điều khiển công suất đường lên.

2.1.2 Bộ nhận NPUSCH định dạng 1 (Dữ liệu)

Dữ liệu kênh chia sẻ đường tải lên NB-IoT được ánh xạ tới kênh NPUSCH định dạng 1 và hỗ trợ tones 1, 3, 6 hoặc 12 ở khoảng cách sóng mang phụ 15 kHz hoặc đơn tone ở khoảng cách sóng mang phụ 3,75 kHz.



Hình 2.5 Cấu trúc RU theo kênh NPUSCH định dạng 1 [6]

Vì băng thông được giới hạn ở 180 kHz, các đơn vị tài nguyên (RU) được định nghĩa là các khối tài nguyên được cấp phát kịp thời. Đơn vị tài nguyên được tính bằng mili giây (ms), độ dài các khe tính bằng mili giây, điều chế tín hiệu được sử dụng, số lượng ký hiệu và tín hiệu tham chiếu được hiển thị cho kênh NPUSCH định dạng 1 như trong Hình 2.5. Kênh NPUSCH định dạng 1 có một ký hiệu thí điểm trên mỗi vị trí, sử dụng mã hóa Turbo và sử dụng điều chế $\pi/4$ QPSK hoặc $\pi/2$ BPSK. Một khối truyền tải được mã hóa như một khối mã hóa và truyền đi N_{Rep}^{NPUSCH} lần liên tiếp, trừ khi khoảng cách truyền dẫn đường tải lên được yêu cầu. Với mỗi N_{Rep}^{NPUSCH} lặp lại được ánh xạ tới N_{RU} đơn vị tài nguyên RU, trong đó N_{RU} có thể là một trong các giá trị {1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10} tùy thuộc vào kích thước TBS và chỉ số MCS. Một đơn vị tài

nguyên được định nghĩa là $N_{\text{symb}}^{\text{UL}} N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$ ký hiệu SC-FDMA liên tiếp trong miền thời gian và $N_{\text{SC}}^{\text{RU}}$ sóng mang con liên tiếp trong miền tần số, trong đó $N_{\text{SC}}^{\text{RU}}$ và $N_{\text{symb}}^{\text{UL}} = 7$.

Những $N_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}}$ lặp lại được nhóm trong chu kỳ lặp lại $\frac{N_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}}}{N_{\text{iden}}^{\text{NPUSCH}}}$. Trong mỗi chu kỳ $N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$ được lặp lại $M_{\text{iden}}^{\text{NPUSCH}} - 1$ lần giống hệt trước khi $N_{\text{slots}}^{\text{UL}}$ kế tiếp được truyền dẫn. Ta có công thức tính $M_{\text{iden}}^{\text{NPUSCH}}$ như sau:

$$M_{\text{iden}}^{\text{NPUSCH}} = \begin{cases} \min\left(\frac{N_{\text{rep}}^{\text{NPUSCH}}}{2}, 4\right) & \text{khi } N_{\text{SC}}^{\text{RU}} > 1 \\ 1 & \text{khi } N_{\text{SC}}^{\text{RU}} = 1 \end{cases} \quad (2.25)$$

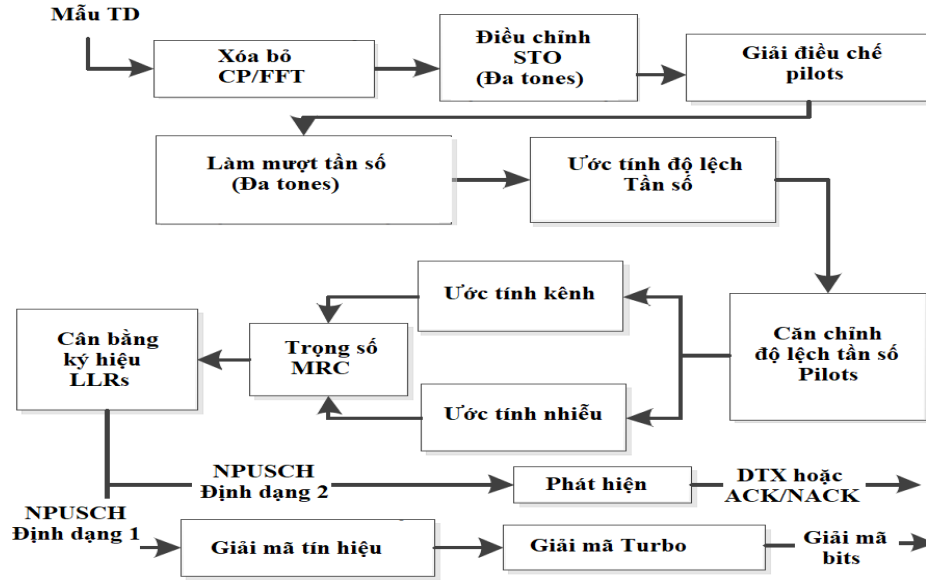
Khi xem xét các mẫu N_l từ khe thứ s^{th} và ký hiệu thứ l^{th} tức là trong phạm vi $n = N_{s,l} - N_{\text{CP}}^l, \dots, N_{s,l} + N_l - 1$. Trong trường hợp này $N_{s,l}$ được tính theo công thức:

$$N_{s,l} = sN_{\text{lots}} + \sum_1 (N_{\text{CP}}^l + N_l) \quad (2.26)$$

Nếu đặt $x_{s,l}[n] = \alpha_l e^{j\theta_{k,l}} e^{\frac{j2\pi kn}{N_l}}$ là tín hiệu truyền dẫn trên sóng mang phụ thứ k^{th} với điều chế α_l . Tại đây, N_{slot} là kích thước của một khe 0.5ms. N_l là kích thước của một ký hiệu. với $l \in \{0, \dots, 6\}$. N_{CP}^l là kích thước tiền tố tuần hoàn của ký hiệu thứ l^{th} . $x_{s,l}[n]$ là dạng sóng trong miền thời gian của mẫu thứ n^{th} của ký hiệu thứ l^{th} trong khe thứ s^{th} . Và $\theta_{k,l}$ là pha của sóng mang phụ thứ k^{th} .

Để giảm thiểu sự gián đoạn pha giữa các ký hiệu nằm ở ranh giới các ký hiệu, phương pháp xoay pha dựa trên điều chế đã được áp dụng. Đối với ký hiệu l của một truyền dẫn liên tục qua sóng mang phụ k , phương pháp xoay pha dựa trên điều chế được áp dụng là $e^{j\theta_{k,l}}$. Điều chế dựa trên xoay pha về cơ bản bao gồm hai phần, phần đầu tiên là $\pi/2$ hoặc $\pi/4$ quay pha đối với điều chế BPSK hoặc QPSK tương ứng được áp dụng cho các ký hiệu số lẻ, thứ hai là phần xoay pha tích lũy được sử dụng để đảm bảo độ lệch pha mong muốn giữa ranh giới các ký hiệu. Điều này làm cho

phương pháp xoay pha được tích lũy trong suốt quá trình truyền dẫn. (Tham khảo sơ đồ khối trong hình 2.6)



Hình 2.6 Sơ đồ khối máy thu cho NPUSCH định dạng 1 và 2

Tín hiệu nhận được cho khe s và ký hiệu l có thể tính theo công thức sau:

$$\begin{aligned} y_{s,l}[n] &= h_{s,l} e^{j2\pi\xi(n-\delta t)} x_{s,l}[n-\delta t] + w_{s,l}[n] \\ &= h_{s,l} e^{j2\pi\xi(n-\delta t)} \alpha_l e^{j\theta_{k,l}} e^{\frac{j2\pi k}{N_l}(n-\delta t)} + w_{s,l}[n] \end{aligned} \quad (2.27)$$

Trong đó ξ là độ lệch tần số giữa tần số truyền / nhận UE và eNB được chuẩn hóa với tần số lấy mẫu. δt là khoảng thời gian lấy mẫu được chuẩn hóa với thời hạn ký hiệu. $h_{s,l}$ là hệ số kênh tại ký hiệu l^{th} của khe s^{th} . Tham số $w_{s,l}$ là nhiễu Gaussian trắng tại khe s^{th} và ký hiệu thứ l^{th} và $j = \sqrt{-1}$. Giảm CP và dùng phép biến đổi FFT, các mẫu trong miền tần số có phương trình là:

$$Y_{s,l}[k] = \sum_{n=N_{s,l}}^{N_{s,l}+N_l-1} y_{s,l}[n] e^{\frac{j2\pi nk}{N_l}} \quad (2.28)$$

Đơn giản hóa hơn nữa chúng ta có thể thêm ký hiệu δt để chỉ ra sự phụ thuộc vào độ lệch thời gian, mẫu trong miền tần số cho khe s , ký hiệu l , trên tones k^{th} là:

$$Y_{s,l,k}^{\delta t} = h_{s,l,k} \alpha_l e^{j\theta_{k,l}} e^{j2\pi\xi(N_{s,l}-\delta t)} e^{\frac{-j2\pi k\delta t}{N_l}} (1 - e^{j2\pi\xi N_l}) + w_{s,l,k} \quad (2.29)$$

➤ **Ước tính độ lệch thời gian cho các trường hợp đa tones**

Nói chung, tín hiệu nhận được không được căn chỉnh theo thời gian và thường có độ lệch thời gian lấy mẫu. Ước / tính độ lệch thời gian là cần thiết trong máy thu vì các tones khác nhau có các pha khác. Tuy nhiên, để nâng cao hiệu suất, nên tách phần bù này khỏi ước tính kênh. Trong trường hợp đơn tones, việc này là không cần thiết vì không có tones thứ hai, do đó vấn đề về các pha khác nhau giữa các tones thậm chí không phát sinh.

Tính toán độ lệch pha giữa các sóng mang con liên kế k và $k + 1$ như sau:

$$P_k = Y_{s,1,k}^{\delta t} * \text{conj}(Y_{s,1,k+1}^{\delta t}) \alpha e^{\frac{j2\pi\delta t}{N_1}} \quad (2.30)$$

Tính tổng độ lệch pha giữa các sóng mang con cho một khe s cho trước, ta đặt

$Q_k^s = \sum_{k=1}^{N_{SC}-1} P_k$. Khoảng cách thời gian lấy mẫu cho một vị trí nhất định được ước tính là:

$$\tilde{\delta t} = \frac{1}{2\pi N_1} \arctan(Q_k^s) \quad (2.31)$$

Độ lệch thời gian lấy mẫu trung bình trên các khe có thể được sử dụng để hiệu chỉnh độ lệch thời gian lấy mẫu cuối cùng. Sau khi truy cập NPRACH lần đầu, UE sẽ áp dụng mức tăng thời gian đề xuất của eNB (Chính xác $\pm 3,43\mu s$) để đạt được đồng bộ hóa đường lên và bắt kỳ độ lệch thời gian lấy mẫu tiếp theo nào được eNB tìm thấy. Cái này là do độ lệch thời gian dự phòng hoặc do trễ trong bộ dao động cục bộ UE theo thời gian. Nếu thời gian của UE bị ngắt bởi một giá trị lớn, lệnh NPDCCH thường được gửi để cho phép UE kết nối lại. Lưu ý rằng độ lệch thời gian lấy mẫu không cần được tính toán một cách rõ ràng và việc hiệu chỉnh độ lệch thời gian lấy mẫu trên các tones nhận được có thể được thực hiện bằng cách sử dụng phasor. Việc hiệu chỉnh thời gian có thể được áp dụng như sau:

$$Y_{s,1,k} = Y_{s,1,k}^{\delta t} * \frac{Q_k^s}{|Q_k^s|} \quad (2.32)$$

➤ Giải điều chế Pilot

Bước đầu tiên là giải điều chế Pilot, tức là loại bỏ các giá trị đã biết của các Pilot khỏi tín hiệu pilot nhận được bằng phép nhân tín hiệu với phiên bản liên hợp phức của chuỗi pilots đã biết. Đối với tone thứ k^{th} của ký hiệu l^{th} trong khe s , giải điều chế pilot có thể được viết như sau:

$$\mathbf{h}_{s,l,k} = \mathbf{r}_{s,l,k}^* \mathbf{Y}_{s,l,k} \quad (2.33)$$

Đặt tín hiệu pilot đã truyền là $\mathbf{r}_{s,l,k}$ có độ lệch tần số là ξ (chuẩn hóa với chu kỳ lấy mẫu) và có nhiễu là $\mathbf{n}_{s,l,k}$, khi đó tín hiệu pilot nhận được có thể được viết là:

$$\mathbf{Y}_{s,l,k} = \mathbf{h}_{s,l,k} \mathbf{r}_{s,l,k} e^{j2\pi\xi N_{s,l}} + \mathbf{n}_{s,l,k} \quad (2.34)$$

Nhân với liên hợp phức pilot $\mathbf{r}_{s,l,k}^*$ ta được kết quả là $\mathbf{h}_{s,l,k} e^{j2\pi\xi N_{s,l}} + \mathbf{m}_{s,l,k}$.

Một phương pháp ước tính độ lệch tần số dựa trên phép biến đổi FFT thường được sử dụng trên các tín hiệu có pha chồng lấn. Đối với kênh NPUSCH định dạng 1, $l = 3$ là ký hiệu pilot. Đối với truyền dẫn đa tones, việc làm mịn tần số được áp dụng trước tiên cho bộ pilot đã được giải điều chế. Giá trị tuyến tính trung bình của tất cả các tones trong mỗi ký hiệu SC-FDMA nhận được mà nó sử dụng để tăng tỉ lệ SNR trong điều kiện kênh tương đối phẳng, được thể hiện theo công thức:

$$\mathbf{h}_{s,3} = \frac{1}{N_{SC}^{RU}} \sum_{k=0}^{N_{SC}^{RU}-1} \mathbf{h}_{s,3,k} \quad (2.36)$$

Ở đây N_{SC}^{RU} là số lượng sóng mang con của đơn vị tài nguyên RU được gán cho người dùng đang được xem xét. Tín hiệu trung bình được sử dụng để ước lượng kênh, ước lượng độ lệch tần số và ước tính công suất nhiễu. Các ký hiệu pilot (Sau khi so sánh liên hợp và lấy trung bình do kênh phẳng trong dải hẹp) tạo thành tín hiệu nhiễu chồng pha với chu kỳ lấy mẫu là 0,5 ms.

➤ Ước tính độ lệch tần số

Để bù tần số và ước tính kênh, một sơ đồ xử lý dựa trên khối được áp dụng để tránh yêu cầu bộ nhớ lớn trường hợp lặp lại cao và để đạt được độ lợi xử lý trong

trường hợp SNR ở mức thấp. Kích thước khối $B = 8 \text{ ms}$ và kích thước khối $B = 32 \text{ ms}$ được sử dụng tương ứng cho các trường hợp truyền dẫn đa tones và đơn tones, khi thời gian truyền đơn tone lớn hơn B , còn nếu không thì thời gian truyền sẽ bằng kích thước khối. Kích thước khối được chọn để đáp ứng các mục tiêu hiệu suất RAN4. Kích thước khối được chọn nhỏ hơn thời gian kết hợp kênh sấp xỉ 423 ms đối với tần số Doppler $f_d = 1 \text{ Hz}$. Với việc pilot xảy ra sau mỗi 0,5ms và sử dụng phép biến đổi FFT với $N = 256$ điểm, độ lệch tần số ξ khoảng xấp xỉ 7,8 Hz. Đầu ra của phép biến đổi FFT được bình phương và tính tổng trên các ăng ten thu và giá trị ước tính về độ lệch tần số lớn nhất.

$$\mathbf{H}_v = \sum_{m=0}^{N-1} \mathbf{h}_{s,3} e^{\frac{-j2\pi m}{N}} \quad (2.37)$$

$$I_v = \sum_{N_{rx}} |\mathbf{H}_v|^2 \quad (2.38)$$

$$m_{\max} = \arg \max_{\left[-\frac{N}{4}, \frac{N}{4} \right]} \{I_v\} \quad (2.39)$$

Giá trị tối đa được lấy trên phạm vi giá trị độ lệch tần số có thể có là $[-250 ; 250] \text{ Hz}$. Có thể đạt được độ chính xác cao hơn trong ước tính bằng cách nội suy xung quanh giá trị lớn nhất. Gọi các giá trị của G_v tại $m_{\max} - 1$, m_{\max} và $m_{\max} + 1$ lần lượt là α , β và γ . Độ lệch p của đỉnh được tính bởi công thức:

$$p = \frac{\frac{1}{2}(\alpha - \gamma)}{\alpha - 2\beta + \gamma} \quad (2.40)$$

Ước lượng độ lệch tần số ξ được tính bởi công thức:

$$\xi = \frac{m_{\max} + p}{NN_{\text{slot}}} \quad (2.41)$$

➤ Ước tính kênh

Quá trình ước tính kênh được lặp lại mỗi khối cho mỗi UE đang hoạt động. Với tần số Doppler xấp xỉ 1Hz. Thời gian trung bình hoạt động được thực hiện cùng với hiệu chỉnh bù tần số hoạt động cho ăng-ten như sau:

$$\mathbf{h}_{b,r} = \frac{1}{2B} \sum_{s=0}^{2B-1} \mathbf{h}_{s,3} e^{-j2\pi \hat{\xi}_{N_{s,3}}} \quad (2.42)$$

Đối với trường hợp nhiều ăng-ten thu, $\mathbf{h}_{b,r}$ là một vector có kích thước N_{rx} với các phần tử tương ứng với ước tính kênh tại mỗi anten thu. Các ký hiệu dữ liệu hiệu chỉnh độ lệch tần số cho ăng-ten được tính bởi:

$$\mathbf{d}_{s,1,k,r} = \mathbf{Y}_{s,1,k} e^{-j2\pi \hat{\xi}_{N_{s,1}}} \quad (2.43)$$

Phương sai nhiễu được tính như sau:

$$\sigma_b^2 = \frac{1}{2BN_{rx}N_{SC}^{RU}} \sum_{N_{rx}} \sum_{N_{SC}^{RU}} \sum_{s=0}^{2B-1} \left| \mathbf{h}_{s,3,k,r} e^{-j2\pi \hat{\xi}_{N_{s,3}}} - \mathbf{h}_{b,r} \right|^2 \quad (2.33)$$

Lưu ý rằng có hai vị trí trên mỗi khung truyền phụ và do đó tổng vượt quá $2B$ đối với một khối có kích thước B ms. Khi khối có kích thước B nhỏ, số lượng mẫu trong ước tính nhiễu là quá nhỏ và các ước tính có thể bị sai lệch. Trong tình huống như vậy SNR có thể được ước tính là:

$$\sigma_b^2 = \frac{1}{2BN_{rx}N_{SC}^{RU}} \sum_{N_{rx}} \sum_{N_{SC}^{RU}} \sum_{s=0}^{2B-1} \left| \mathbf{h}_{s,3,k,r} e^{-j2\pi \hat{\xi}_{N_{s,3}}} - \mathbf{h}_b \right|^2 \quad (2.45)$$

Với thời gian trung bình \mathbf{h}_b và tần số trung bình $\mathbf{h}_{s,3,r}$ được tính theo công thức:

$$\mathbf{h}_b = \frac{1}{2B} \sum_{s=0}^{2B-1} \mathbf{h}_{s,3} e^{-j2\pi \hat{\xi}_{N_{s,3}}} \quad (2.46)$$

$$\mathbf{h}_{s,3,r} = \frac{1}{N_{SC}^{RU}} \sum_{k=0}^{N_{SC}^{RU}-1} \mathbf{h}_{s,3,k} e^{-j2\pi \hat{\xi}_{N_{s,3}}} \quad (2.47)$$

Ngoài ra, $\mathbf{h}_{s,3,r}$ là đã được giải điều chế, ký hiệu tham chiếu STO đã hiệu chỉnh (đa tones) trong một khe s cho trước và cho một tone cho trước. Theo điều kiện MMSE. Các taps của bộ cân bằng cho khối b và ăng-ten r được tính như sau:

$$\mathbf{w}_{b,r} = \sigma_b^{-2} \mathbf{h}_{b,r}^H \quad (2.48)$$

Hàm $(\cdot)^H$ biểu thị cho phép toán Hermitian. Các ký hiệu cân bằng trong một khối b được cho bởi công thức:

$$e_{s,l,k} = \sum_{N_{rx}} w_{b,r} d_{s,l,k,r} \quad (2.49)$$

Trong đó chỉ số phụ r biểu thị ăng-ten thu. Sự nghịch đảo của phép biến đổi Fourier của thứ tự N_{SC}^{RU} nằm trong tập hợp $\{3,6,12\}$ được tính là:

$$e_{s,l,k}^t(n) = \frac{1}{\sqrt{N_{SC}^{RU}}} \sum_{k=0}^{N_{SC}^{RU}-1} e_{s,l,k} e^{\frac{-j2\pi nk}{N_{SC}^{RU}}} \quad (2.50)$$

Tỷ lệ khả năng ghi nhận ký (LLR) thu được là:

$$LLR_{s,l,k} = \begin{cases} -\text{Real}(e_{s,l,k}^t) - \text{Imag}(e_{s,l,k}^t) & ; \text{BPSK} \\ (-\text{Real}(e_{s,l,k}^t), -\text{Imag}(e_{s,l,k}^t)) & ; \text{QPSK} \end{cases} \quad (2.51)$$

Các LLR tương ứng với các lần lặp lại giống nhau thuộc cùng một đơn vị tài nguyên) được kết hợp trước khi giải mã ghép xen. Tỷ lệ ghép trùng khớp là được thực hiện cho các LLR không xen kẽ cho mỗi lần lặp lại và sự lặp lại của cùng một lần truyền được kết hợp với HARQ LLR của các lần truyền trước đó nếu có. Với mọi sự lặp lại không giống nhau, hoạt động giải mã turbo được thực hiện dựa trên kết quả kiểm tra của CRC. Đầu ra bit từ bộ giải mã sau khi giải mã thành công, bao gồm cả kiểm tra CRC chỉ báo cho mỗi nhóm lặp lại giống nhau được chuyển đến lớp cao hơn. SNR trên một khối b , được cung cấp bởi phương trình:

$$SNR_b = w_b h_b \quad (2.52)$$

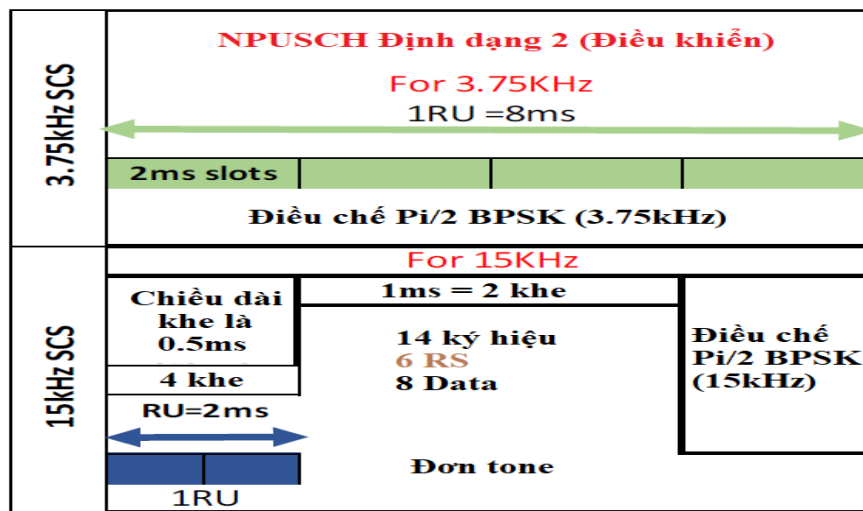
SNR được báo cáo cho các lớp cao hơn thường là SNR trung bình qua một vài khối cuối cùng để tránh tính trung bình trong thời gian dài khi mà sự lặp lại nhiều hơn.

2.1.3 Bộ nhận NPUSCH định dạng 2 (Điều khiển)

Kênh NPUSCH định dạng 2 mang chức năng xác nhận dữ liệu đường xuống và chỉ hỗ trợ đơn tone với khoảng cách sóng mang phụ là 3,75 kHz hoặc 15 kHz. Kênh NPUSCH định dạng 2 có độ dài đơn vị tài nguyên RU là 2 ms và có ba ký hiệu tham chiếu trên mỗi vị trí để tạo điều kiện cho các ước tính khi sử dụng đơn tone 3,75 kHz

hoặc 15 kHz. Đơn tone trong kênh NPUSCH định dạng 2 tương tự như đơn tone NPUSCH định dạng 1 (Hình 2.7), ngoại trừ cấu trúc pilot, kênh mã hóa và điều chế.

NPUSCH định dạng 2 có ba ký hiệu pilot cho mỗi vị trí, sử dụng mã hóa lặp lại trên một bit ACK/NACK và chỉ sử dụng một loại điều chế $\pi/2$ BPSK. Mô-đun ước tính độ lệch tần số và ước tính kênh cũng có thể được sử dụng lại cho NPUSCH định dạng 2. Tuy nhiên, một thay đổi nhỏ là trong trường hợp NPUSCH định dạng 2, có ba pilot có sẵn trong một khe có độ dài 0,5ms so với một pilot duy nhất trong trường hợp NPUSCH định dạng 1.



Hình 2.7 Cấu trúc đơn vị tài nguyên kênh NPUSCH định dạng 2 [6]

Giả sử các thay đổi pha nhỏ giữa các ký hiệu liên kề. Pilot giải điều chế sau đó có thể tiến hành như ở NPUSCH định dạng 1. Sử dụng lại mô-đun NPUSCH định dạng 1 có lợi thế là tiết kiệm bộ nhớ trong quá trình thực hiện, giảm chi phí phát triển và thử nghiệm mô-đun. Đối với NPUSCH định dạng 2, không có giải mã liên quan tới LLR và chỉ phát hiện ACK/NACK được thiết kế. Gọi $\alpha_l = t_l u$ là bảng chữ cái điều chế được truyền trên sóng mang phụ $k = k_0$, trong đó t_l là xáo trộn và u là bit ACK/NACK chưa biết. Với mọi ký hiệu, ta có công thức:

$$Z_{s,l}[k_0] = Y_{s,l}[k_0] t_l^* e^{-j\theta_{k_0,l}} \quad (2.53)$$

Với $Y_{s,l}[k_0]$ được định nghĩa trong phần trước và $e^{j\theta_{k_0,l}}$ là quay pha dựa trên điều chế được áp dụng cho ký hiệu l của quá trình truyền liên tục qua sóng mang phụ

k_0 . Bỏ ký hiệu sóng mang phụ k_0 để tránh xáo trộn, đối với khe s , cần xác định các biến Z_s^p và Z_s^d cho các ký hiệu pilot và dữ liệu tương ứng cho mỗi ăng ten như phương trình sau:

$$J(u) = \sum_{r=1}^{N_{rx}} |J_r(u)|^2 \quad (2.54)$$

Với:

$$J_r(u) = \sum_{s=gp+1}^{(g+1)p} (Z_s^p + uZ_s^d) w_b e^{-j2\pi\bar{\xi}N_{s,l}} \quad (2.55)$$

$$Z_s^p = \sum_{l=2,3,4} Z_{s,l} \alpha h_g e^{j2\pi\bar{\xi}N_{s,l}} \quad (2.56)$$

$$Z_s^d = \sum_{l=0,1,5,6} Z_{s,l} \alpha h_g e^{j2\pi\bar{\xi}N_{s,l}} \quad (2.57)$$

Ở đây $\bar{\xi}$ là độ lệch tần số ước tính, w_b là trọng lượng tab của bộ cân bằng nhưng với phương sai nhiễu được tính toán khác một chút. Ngoài ra, g là đại diện cho số đơn vị tài nguyên (RU), p là số lần lặp lại được cấu hình và N_{rx} là số lượng ăng ten. Dấu của ký hiệu cân bằng và SNR của quá trình truyền SNR_t , là tổng SNR của tất cả các khối trong quá trình truyền, tức là $SNR_t = \sum_B SNR_b$, để xác định xem ACK, NACK hay DTX đã được truyền đi chưa.

$$\frac{A}{N} = \begin{cases} \text{DTX} & \text{khi } SNR_t \leq \varepsilon \\ \text{sign}\left(\arg \max_u [\text{Re}(J(u))]\right) & \text{khi } SNR_t > \varepsilon \end{cases} \quad (2.58)$$

Ở đây $\frac{A}{N} \in \{1, 0, -1\}$ đại diện cho thông tin ACK / NACK hoặc DTX tương ứng.

Ở đây, ε là hằng số được xác định bằng cách gửi tín hiệu “0” (DTX) và tính toán giá trị của SNR_t qua một số khung DTX. CDF của các giá trị quan sát của SNR_t được vẽ để xác định ngưỡng ε cái mà có khoảng 1% DTX cho ACK.

➤ Ước tính nhiễu cho NPUSCH định dạng 2

Vì $N_{SC}^{RU} = 1$ (tức là đơn tone) cho NPUSCH định dạng 2 và kích thước khối $B = 4ms$, ước tính nhiễu được sử dụng trong NPUSCH định dạng 1 có thể dẫn đến ước tính lệch trong thời gian SNR thấp. Đối với Định dạng NPUSCH 2, tất cả các ký hiệu dữ liệu đều giống hệt nhau, tức là ACK hoặc bit NACK, sự khác biệt giữa các ký hiệu liên kế sẽ hiển thị nhiễu. Với cách tiếp cận này, 4 mẫu có thể thu được trên mỗi mili giây trên mỗiăng ten và lấy trung bình trên $B = 4ms$ mang lại độ chính xác ước tính tốt hơn. Cụ thể, nhiễu có thể được ước tính là:

$$\sigma^2 = \frac{1}{2BN_{rx}} \sum_{N_{rx}} \sum_{s=0}^{2B-1} \left| d_{s,l,k_0} - d_{s,l+1,k_0} \right|^2 \quad (2.59)$$

$l=0,1,5,6$

Trong đó d_{s,l,k_0} là ký hiệu dữ liệu không phân mảnh l tương ứng với khe s^{th} được truyền trên sóng mang phụ k_0 . Lưu ý rằng có hai vị trí trên mỗi khung truyền phụ và do đó tổng số hơn $2B$ đối với một khối có kích thước B ms. Trong triển khai eNB điển hình, xử lý đồng thời các kênh đường lên LTE, eMTC, NB-IoT kế thừa, thường được yêu cầu với nhiều người dùng, phục vụ trên mỗi khoảng thời gian truyền (TTI).

➤ Hiệu chỉnh pha chung

Trong thiết lập thực tế, cần hiệu chỉnh pha cho mỗi ký hiệu để tính đến sự khác biệt giữa vị trí tần số của trung tâm khối tài nguyên vật lý IoT băng hẹp (PRB) và vị trí tần số của trung tâm của tín hiệu LTE, vì một bộ thu băng rộng chung duy nhất sử dụng phép biến đổi FFT (có thể nói là kích thước 2048 cho băng thông 20MHz ở 30,72Msps) thường được sử dụng trong giao diện người dùng kỹ thuật số (DFE) cho cả LTE và NB-IoT. Do biến đổi FFT chung, sự bù pha được giới thiệu cho các tone của NB-IoT do sự khác biệt giữa tần số trung tâm. Ta có tín hiệu NB-IoT đa tone $s(t)$

$$s(t) = \sum_{k=-6}^5 \alpha_k e^{j2\pi \left(k + \frac{1}{2} \right) \Delta f (t - N_{c,p,l} T_s)} \quad (2.60)$$

Điểm gốc trong phương trình trên là ở đầu ký hiệu OFDM thứ l^{th} (bao gồm cả tiền tố chu kỳ). Di chuyển nó đến đầu ký hiệu OFDM l^{th} không có CP, khi đó $s(t)$:

$$s(t) = \sum_{k=-6}^5 \alpha_k e^{j2\pi\left(k+\frac{1}{2}\right)\Delta f t} \quad (2.61)$$

Nếu khoảng cách giữa các tâm của sóng mang LTE và NB-IoT là $f_0 = N_0 \Delta f$, trong đó Δf là khoảng cách sóng mang phụ và N_0 là một số không đổi thì:

$$s(t) = \sum_{k=-6}^5 \alpha_k e^{j2\pi\left(k+\frac{1}{2}\right)\Delta f t} e^{j2\pi f_0 (t+M_0 T_s)} \quad (2.62)$$

Ở đây, $M_0 T_s$ là độ lệch thời gian giữa thời điểm bắt đầu áp dụng dịch tần và ký hiệu OFDM thứ l^{th} (không bao gồm CP). Trước khi lấy biến đổi FFT, tín hiệu phải được dịch tần số $\pm 12 \Delta f$ (dịch chuyển nửa tone).

$$s(t) = \sum_{k=-6}^5 \alpha_k e^{j2\pi\left(k+\frac{1}{2}\right)\Delta f t} e^{j2\pi\left(f_0 \pm \frac{1}{2}\Delta f\right)(t+M_0 T_s)} \quad (2.63)$$

Sau khi lấy mẫu ta có:

$$s_n = \sum_{k=-6}^5 \alpha_k e^{j2\pi\left(k+\frac{1}{2}\right)\Delta f n T_s} e^{j2\pi\left(f_0 \pm \frac{1}{2}\Delta f\right)(n T_s + M_0 T_s)} \quad (2.64)$$

Kết quả biến đổi FFT ta có:

$$S_m = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} S_n e^{\frac{j2\pi m n}{N}} = e^{\frac{j2\pi\left(N_0 \pm \frac{1}{2}\right)M_0}{N}} a_{k+\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}} \quad (2.65)$$

Sau đó, hiệu chỉnh pha được áp dụng tại bộ thu NB-IoT.

➤ Xử lý khoảng cách truyền tải đường lên

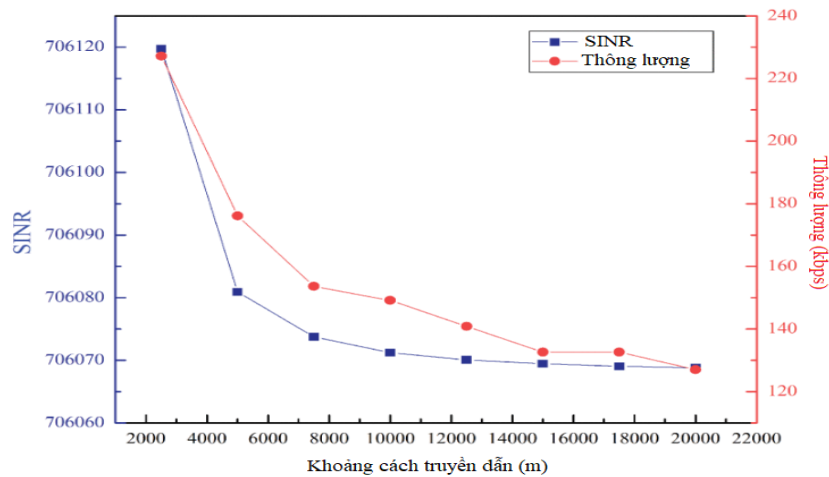
Các mô-đun ước tính độ lệch tần số và ước lượng kênh và LLR giống hệt nhau sẽ bị ảnh hưởng khi có khoảng trống truyền đường tải lên (UL). Mọi quá trình truyền NPUSCH đang diễn ra sẽ bị UE hoãn lại khi tài nguyên NPRACH chồng chéo về thời gian và tần suất và sẽ được tiếp tục sau khi có cơ hội. Ngoài ra, để duy trì đồng bộ thời gian / tần số giữa UE và eNode B trong quá trình truyền lặp lại UL dài, khoảng trống UL có thể được tạo ra. Trong khoảng trống UL, UE có thể chuyển sang DL và thực hiện đồng bộ hóa thời gian / tần số.

Nếu thời lượng truyền NPUSCH UL là lớn hơn hoặc bằng 256 ms, thì khoảng trống 40 ms được UE chèn vào, tiếp theo là các lần truyền còn lại.

2.2 Nghiên cứu về các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu năng

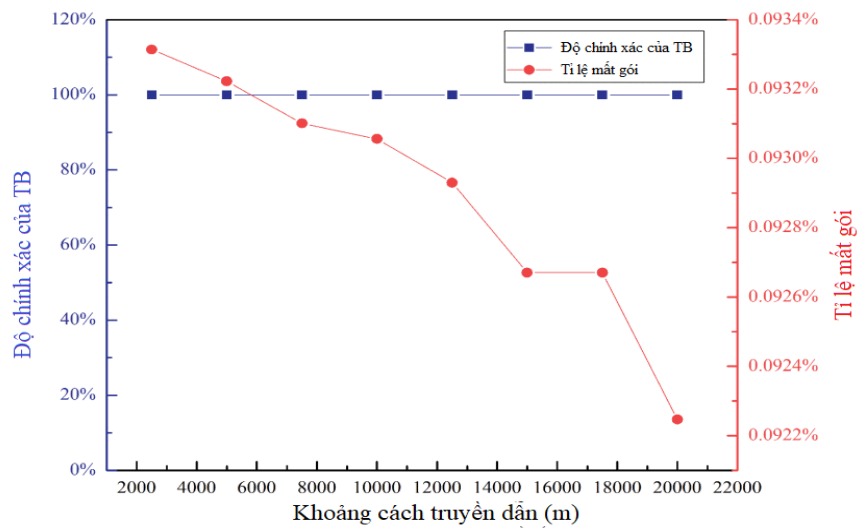
2.2.1 Ảnh hưởng của khoảng cách truyền của tín hiệu

Độ tin cậy của hệ thống được biểu thị bằng bốn tham số: SINR, thông lượng, tỷ lệ mất gói và độ chính xác của khối truyền tải (TB). Khi khoảng cách truyền tăng lên, SINR, thông lượng và tỷ lệ mất gói giảm xuống, trong khi độ chính xác của TB về cơ bản không thay đổi. SINR đại diện cho tỷ số giữa cường độ của tín hiệu hữu ích thu được với cường độ của tín hiệu nhiễu.



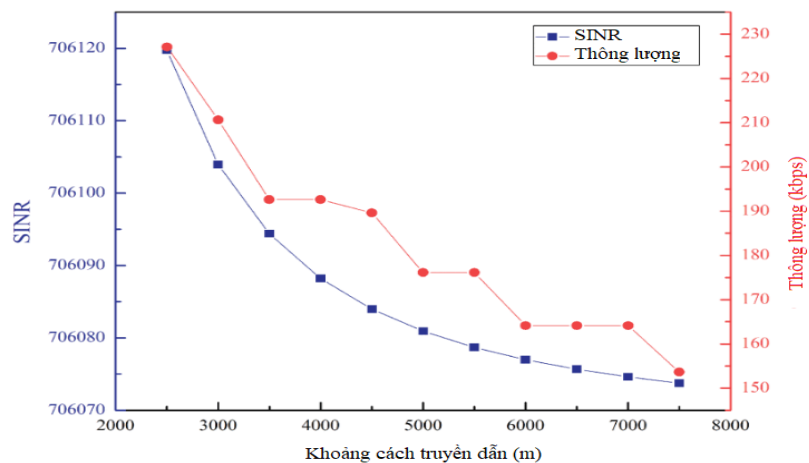
Hình 2.8 SINR và Thông lượng ở các khoảng cách truyền khác nhau [9]

Như được trình bày trong Hình 2.8 [9] cho thấy SINR giảm nhanh và thông lượng giảm nhanh ở khoảng cách 2500-3500m. Khi khoảng cách truyền là 3500m, SINR và thông lượng thay đổi tương đối chậm. Lý do là NB-IoT là một kỹ thuật truyền dẫn đường dài. Tỷ lệ mất gói là tỷ số giữa số gói bị mất với tổng gói dữ liệu được truyền đi. Tỷ lệ mất gói cao ảnh hưởng đáng kể đến hoạt động của hệ thống. Khi khoảng cách truyền tăng lên, thời gian truyền dữ liệu càng dài, cơ chế truyền lại NB-IoT được kích hoạt bởi hệ thống càng thường xuyên hơn.



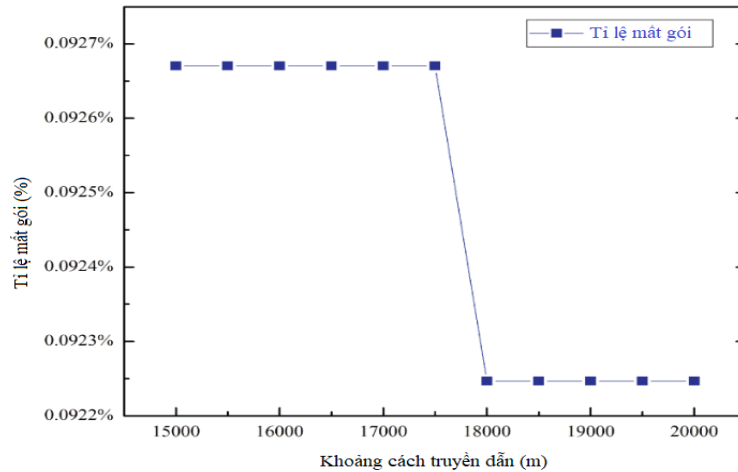
Hình 2.9 Độ chính xác của TB và tỷ lệ mất gói theo khoảng cách [9]

Kết quả bên dưới cho thấy tỷ lệ mất gói tin có xu hướng giảm đáng kể ở khoảng cách 17500-18000m. Tuy nhiên, ở khoảng cách xa hơn 18000m, sự khác biệt về tỷ lệ mất gói vẫn nhỏ và hầu như không thay đổi. Hình 2.9 [9] chỉ ra rằng khoảng cách có độ sụt giảm nhanh nằm trong phạm vi 17850-17950m. Độ chính xác của TB về cơ bản không thay đổi.



Hình 2.10 SINR và thông lượng ở khoảng cách truyền ngắn [9]

Hình 2.10 thể hiện SINR và thông lượng ở khoảng cách truyền ngắn. Kết quả tương tự hình 2.8 ở khoảng cách gần.

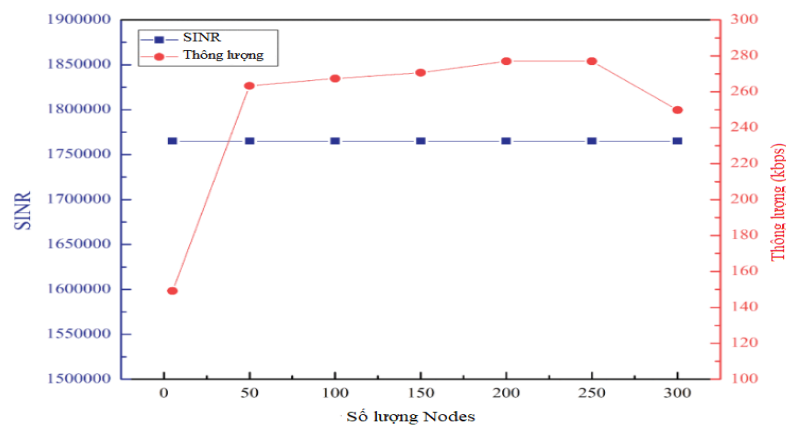


Hình 2.11 Tỷ lệ mất gói ở khoảng cách truyền dài [9]

Tỷ lệ mất gói tin của toàn hệ thống nằm trong khoảng từ 0,00093314 đến 0,000922469. Do đó, cơ chế truyền lại của NB-IoT làm giảm bớt vấn đề mất gói dữ liệu hệ thống ở một mức độ nhất định. Xu hướng chung của đường cong mất gói cho thấy rằng, ở khoảng cách truyền 15000-20000m, tốc độ mất gói của hệ thống là tương đối cao (Hình 2.11). Từ khoảng cách xa 17500m, tỷ lệ mất gói tin giảm rõ rệt.

2.2.2 Ảnh hưởng của số lượng nút NB-IoT đến độ tin cậy

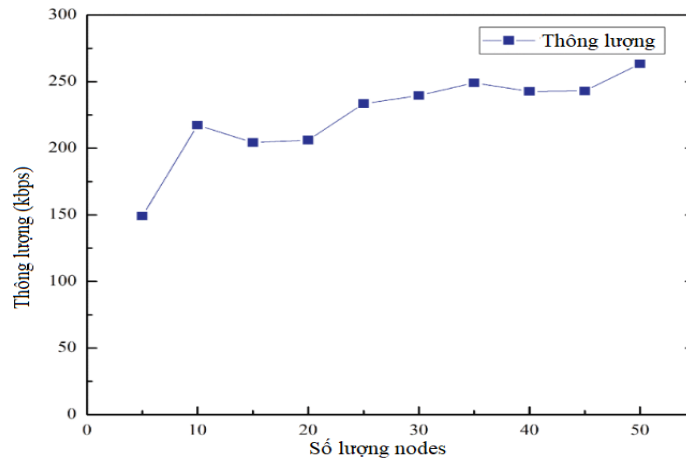
Hình 2.12 [9] cho thấy ảnh hưởng của số lượng nút NB-IoT đối với độ tin cậy của hệ thống.



Hình 2.12 SINR và thông lượng ở số lượng nút khác nhau [9]

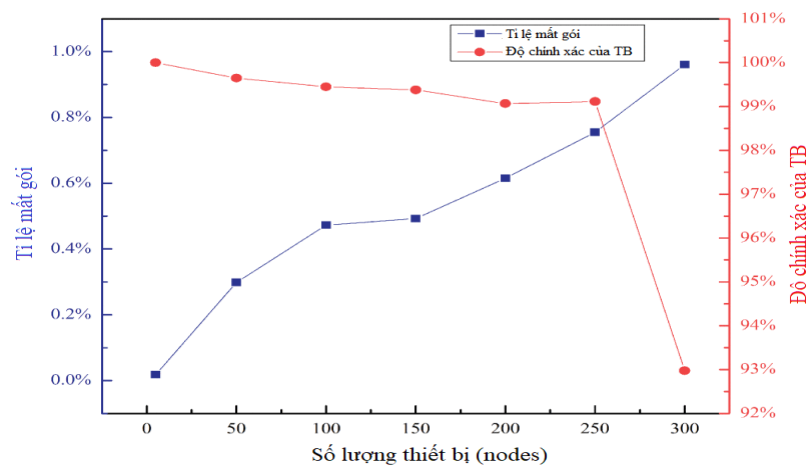
Như được mô tả trong Hình 2.12, khi số lượng nút NB-IoT tăng lên, SINR về cơ bản vẫn giữ nguyên, nhưng thông lượng tiếp tục tăng. Số lượng tín hiệu NB-IoT

trong hệ thống tăng lên. Tuy nhiên, đường truyền và môi trường truyền không đổi. Do đó, về cơ bản SINR vẫn không thay đổi. Khi số lượng nút tăng lên, lượng dữ liệu tăng lên, do đó làm tăng thông lượng của toàn bộ hệ thống. Khi số lượng thiết bị NB-IoT nằm trong khoảng từ 5 đến 50, thông lượng của hệ thống tăng lên nhanh chóng.



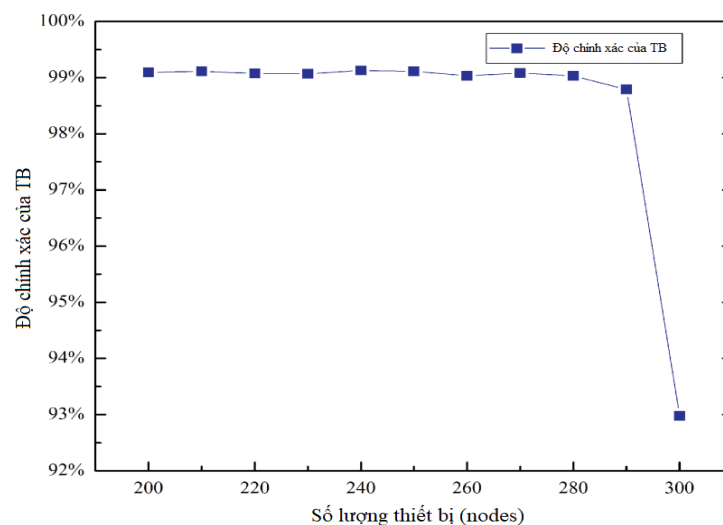
Hình 2.13 Thông lượng ở số lượng nút nhỏ [9]

Khi số lượng nút tăng lên, khối lượng truyền trên một đơn vị thời gian tăng và tốc độ truyền chung tăng. Tuy nhiên, khi số lượng thiết bị từ 250 đến 300, thông lượng của hệ thống giảm xuống. Thông lượng trung bình của hệ thống đạt 177 Kbps, tối thiểu là 140 Kbps. Hình 2.13 cho thấy khi nút NB-IoT nằm trong khoảng từ 5 đến 50, xu hướng chung của thông lượng vẫn đang tăng lên.



Hình 2.14 Độ chính xác của TB và tỷ lệ mất gói ở số lượng nút khác nhau [9]

Theo [9], tốc độ tăng thông lượng là tương đối nhanh. Khi số lượng nút tăng lên, tài nguyên hệ thống vẫn đủ. Tốc độ thông lượng tiếp tục tăng, nhưng tốc độ giảm. Tình hình này khác với khi số nút vừa mới tăng lên. Hình 2.14 cho thấy xu hướng của tỷ lệ mất gói và độ chính xác của TB. Khi số lượng các nút tăng lên, tỷ lệ mất gói tăng lên, và xu hướng tăng này là tương đối ổn định. Trong khi đó độ chính xác của TB thể hiện xu hướng giảm. Tham khảo hình 2.15



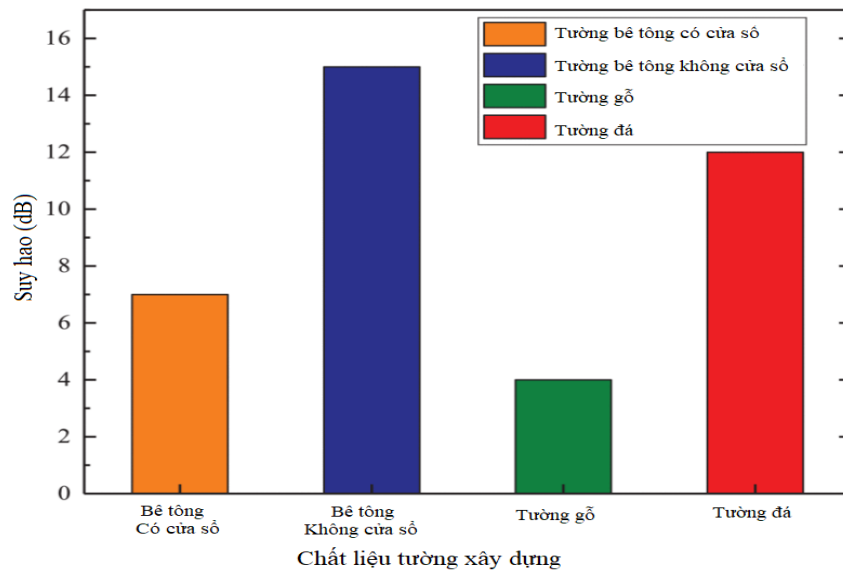
Hình 2.15 Độ chính xác của TB ở số lượng lớn các nút [9]

Khi số lượng các nút NB-IoT tăng lên, khả năng truyền tải của hệ thống tăng lên, và khả năng mất hoặc hỏng dữ liệu hệ thống cũng tăng lên. Tỷ lệ mất gói hệ thống tăng đến một mức độ nhất định, và độ chính xác của khối dữ liệu giảm xuống. Mặc dù hệ thống có cơ chế truyền lại nhưng với lượng dữ liệu tăng lớn, việc truyền lại dữ liệu một mình trong thời gian ngắn không thể khôi phục hoàn toàn việc mất dữ liệu.

Khi số lượng nút NB-IoT dao động từ 250 đến 300, việc giảm độ chính xác của khối dữ liệu tăng lên đáng kể. Độ tin cậy của hệ thống thực sự bị ảnh hưởng bởi số lượng các nút NB-IoT, nhưng ảnh hưởng này là tương đối nhỏ.

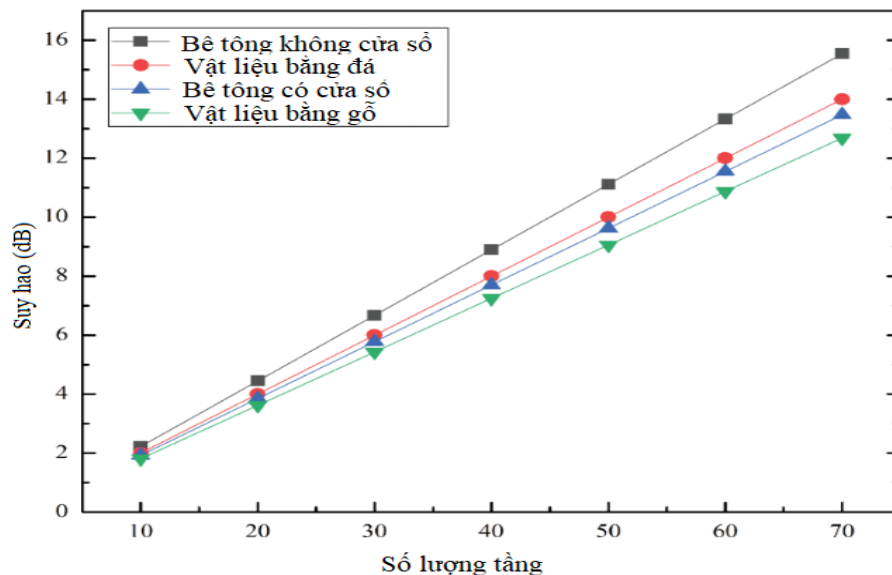
2.2.3 Ảnh hưởng của rào cản xây dựng đối với độ tin cậy

Phần này sẽ nghiên cứu ảnh hưởng của chương ngại vật đến tiêu thụ năng lượng qua đường truyền và phân tích những thay đổi về độ tin cậy của hệ thống.



Hình 2.16 Suy hao theo các vật liệu xây dựng khác nhau [9]

Kết quả thể hiện trong Hình 2.16, xét trường hợp các tòa nhà được làm với các loại vật liệu khác nhau và sau đó phân tích tổn thất của hệ thống. Vật liệu xây dựng là bê tông có cửa sổ, bê tông không có cửa sổ, vật liệu gỗ và vật liệu đá. Kết quả chỉ ra rằng các tòa nhà gây ra tổn thất lần lượt theo thứ tự: Tòa nhà bê tông không có cửa sổ, tòa nhà bằng vật liệu đá, tòa nhà bê tông có cửa sổ và tòa nhà bằng vật liệu gỗ. Suy hao tương ứng là 14,9996 dB, 11,9996 dB, 6,9996 dB và 3,9996, theo [9].



Hình 2.17 Tổn thất theo tầng khác nhau [9]

Hình 2.17 phản ánh sự thay đổi về tổn thất hệ thống do sự khác biệt về tầng trong các tòa nhà được xây dựng bằng các vật liệu xây dựng khác nhau.

Kết luận chương 2

Phần này chủ yếu nghiên cứu về thiết kế máy thu đường tải lên, các công thức tính định lượng về ước tính nhiễu, ước tính và điều chỉnh độ lệch tần số, ước tính pha... Cũng như cấu trúc các kênh vật lý trong đường tải lên.

Ngoài ra chương 2 còn nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng tới độ tin cậy của hệ thống. Ảnh hưởng được phản ánh bằng các chỉ số định lượng thông qua các mô phỏng, dựa theo [9]. Kết quả chỉ ra rằng khoảng cách truyền của tín hiệu NB-IoT ảnh hưởng đến độ tin cậy của hệ thống. Các số liệu cho thấy SINR và thông lượng sẽ giảm khi khoảng cách truyền tăng lên. Nhưng độ chính xác của TB về cơ bản vẫn giữ nguyên, và tỷ lệ mất gói tin giảm. Khi lượng truy cập tăng lên, tỷ lệ mất gói của hệ thống tăng lên, và độ chính xác của TB giảm. Tuy nhiên, tỷ lệ mất gói tổng thể vẫn thấp hơn 1% và tỷ lệ chính xác trung bình của tất cả các khối dữ liệu nhận được vượt quá 98,5%. Ngoài ra rào cản xây dựng trên đường truyền ảnh hưởng đến độ tin cậy của hệ thống.

Chương 3 sẽ tập trung vào nghiên cứu các giải pháp nhằm nâng cao hiệu năng máy thu.

CHƯƠNG III

GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU NĂNG MÁY THU ĐƯỜNG TẢI LÊN NB-IOT

3.1 Giải pháp phân cụm theo khoảng cách và cường độ truy cập

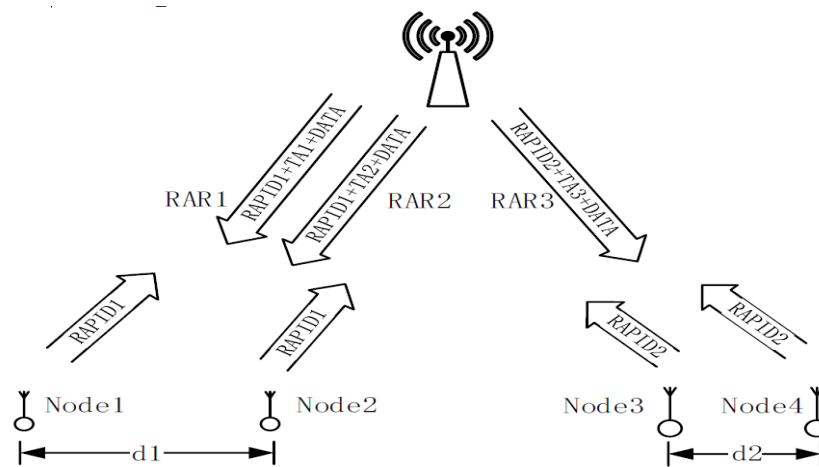
Để có được QoS cao hơn, một thuật toán truy cập nâng cao được đề xuất, trong đó các thiết bị đầu cuối mạng được phân nhóm dựa trên khoảng cách tới trạm gốc và cường độ lưu lượng đầu cuối, đồng thời phân bổ sử dụng lại mã mở đầu để cải thiện sức chứa truy cập mạng. Thuật toán truy cập nâng cao dựa trên việc phân bổ phân mở đầu có thể tái sử dụng dựa trên phân cụm (ERA-CRPA) [8]. Kết quả thử nghiệm cho thấy ERA-CRPA có thể làm giảm xác suất xung đột của phân mở đầu truy cập ngẫu nhiên, cải thiện hiệu quả truy cập hơn và tăng dung lượng của mạng NB-IoT.

Việc thực hiện xử lý phân cụm các thiết bị đầu cuối dựa theo các gói tin thông báo thời lượng và khoảng cách tới trạm eNodeB. Một nhóm các phân mở đầu được đặt trong một cụm nếu như có khoảng cách tới trạm cơ sở gần giống nhau và các cụm với các khoảng cách khác nhau được gán với một lời mở đầu. Bằng cách này, phân mở đầu có thể được sử dụng lại hiệu quả, xác suất xung đột ở phân mở đầu được giảm xuống và khả năng truy cập mạng tốt hơn.

3.1.1 Phân mở đầu có thể tái sử dụng

Tài nguyên mở đầu của hệ thống NB-IoT rất hạn chế và xung đột phân mở đầu có thể xảy ra trong các ứng dụng có mật độ sử dụng dịch vụ cao. Nếu có thể điều phối việc phân bổ phân mở đầu, năng lực hệ thống sẽ được tăng lên một cách hiệu quả. Các cơ chế truy cập gói dựa trên mức độ ưu tiên được đề xuất, phân bổ tài nguyên truy cập ngẫu nhiên dựa trên các cụm thiết bị và ngăn chặn một số lượng lớn thiết bị đồng thời truy cập thông qua cơ chế Chặn truy cập động (DAB). Các thiết bị đầu cuối được phân cụm với tốc độ đến và giá trị cấp bách khác nhau và sau đó đề xuất một gói dựa trên cơ chế ưu tiên truy cập để đạt được QoS tốt hơn. Wang và cộng sự [10] đã đề xuất một

phương pháp tối ưu cụm (PSO) dựa trên các thuật toán điều khiển. Bằng cách phân cụm mạng, bán kính của thiết bị đầu cuối, cảm biến được điều chỉnh theo vùng phủ sóng và mức tiêu thụ năng lượng. Trong quy trình truy cập ngẫu nhiên NB-IoT, thiết bị đầu cuối khác nhau có thể truy cập mạng với cùng một phần mở đầu với độ trễ lan truyền chênh lệch nhau. Nếu độ trễ lan truyền khác biệt đủ lớn, chúng có thể được phân biệt bằng eNodeB. Trong trường hợp này, nếu eNodeB tạo ra một phản hồi truy cập ngẫu nhiên (RAR) tương ứng cho mỗi lần phát hiện phần mở đầu và mỗi thiết bị đầu cuối có thể giải mã chính xác thông báo RAR, có thể tránh được va chạm.



Hình 3.1 Cơ chế phát hiện RAR [10]

Như thể hiện trong hình 3.1, đầu cuối 1 và đầu cuối 2 truyền cùng một lúc mở đầu. Khoảng cách $d1$ giữa hai thiết bị đầu cuối là đủ lớn. Sự khác biệt về thời gian của yêu cầu truy cập ngẫu nhiên đến trạm gốc lớn hơn α , vì vậy eNodeB có thể phân biệt và tạo ra hai phản hồi truy cập RAR1 và RAR2. Mặt khác, khoảng cách $d2$ giữa đầu cuối 3 và đầu cuối 4 là nhỏ. Các chênh lệch thời gian giữa quá trình truyền của chúng đến trạm gốc nhỏ hơn α , chỉ một phản hồi truy cập ngẫu nhiên RAR3 xảy ra trong eNodeB. Thông báo RAR bao gồm giá trị căn chỉnh thời gian cho quá trình truy cập, hay còn gọi là định thời nâng cao (TA), ngoài các mã mở đầu đã nhận RAPID1, RAPID2 và DATA tài nguyên đường lên.

Cơ chế TA xảy ra giữa bước thứ hai và thứ ba của quy trình truy cập ngẫu nhiên. Nó chủ yếu được sử dụng để căn chỉnh các tín hiệu đường lên của cùng một

truy cập tài nguyên để tránh can thiệp nội ô. Đối với UE, giá trị căn chỉnh thời gian là một phần bù trước giữa thời gian bắt đầu nhận khung con đường xuống và thời gian truyền khung con đường lên. Trạm cơ sở kiểm soát thời gian của các tín hiệu đường lên UE khác nhau đến trạm gốc bằng cách điều chỉnh phù hợp độ lệch của mỗi thiết bị đầu cuối. Một thiết bị đầu cuối xa trạm gốc hơn được thiết lập có độ trễ truyền lớn hơn để truyền dữ liệu đường lên một cách nâng cao.

Khoảng cách giữa thiết bị đầu cuối 1 và thiết bị đầu cuối 2 và trạm gốc là khác nhau và giá trị căn chỉnh thời gian được chỉ định bởi trạm gốc cũng là khác. Sau khi nhận được gói dữ liệu, hai thiết bị đầu cuối xác định xem các gói dữ liệu có phải là sở hữu bằng cách đánh giá giá trị căn chỉnh thời gian. Đầu cuối 1 và đầu cuối 2 có thể sử dụng lại cùng một phần mở đầu.

3.1.2 Cường độ truy cập

Mạng NB-IoT thường bao gồm nhiều loại dịch vụ. Số lượng thiết bị đầu cuối và thời gian tải dữ liệu lên là biến thiên tùy thuộc vào loại dịch vụ khác nhau và cường độ truy cập các dịch vụ cũng khác nhau. Cường độ truy cập là thước đo số lượng thời gian truy cập ngẫu nhiên được khởi tạo bởi một cụm đầu cuối trong một đơn vị thời gian và có thể được thể hiện dưới dạng số báo cáo trong một ô trên một giây. Cường độ truy cập càng lớn, các thiết bị đầu cuối trong cụm càng truy cập ngẫu nhiên thường xuyên. Hệ thống NB-IoT có tài nguyên mở đầu hạn chế, vì vậy mật độ truy cập ngẫu nhiên càng cao thì xác suất của sự xung đột mở đầu rất lớn. Các dịch vụ có cường độ truy cập cao hơn có nhu cầu lớn hơn về nhiều tài nguyên mở đầu hơn và nguồn mở đầu hạn chế này cần được phân bổ theo tỷ lệ cường độ truy cập của mỗi cụm đầu cuối. Cường độ truy cập λ của một cơ hội truy cập thứ i^{th} :

$$\lambda = N \int_{t_i}^{t_{i+1}} f(t) dt \quad (3.1)$$

Với N là tổng số thiết bị đầu cuối, t_i là cơ hội truy cập ngẫu nhiên thứ I , và $f(t)$ là hàm phân bố đều theo lưu lượng. Giả định rằng mỗi khe thời gian cho phép truy cập

ngẫu nhiên, quyền truy cập độc lập của mỗi cơ hội truy cập ngẫu nhiên trong mạng đơn dịch vụ là:

$$\lambda = \frac{N}{T} \quad (3.2)$$

T là khoảng thời gian truy cập ngẫu nhiên của thiết bị đầu cuối.

3.1.3 Mô tả thuật toán

Thuật toán ERA-CRPA phân cụm các UE trong mạng theo khoảng cách giữa UE và eNodeB và cường độ truy cập. Số lượng phần mở đầu trong một tập hợp được xác định bởi tần suất tải dữ liệu dịch vụ lên, được đo bằng cường độ truy cập. Theo cách này, một số phần mở đầu có giới hạn có thể được tái sử dụng hiệu quả để tăng QoS và dung lượng của mạng. Có nhiều thuật toán phân cụm khác nhau nhưng thuật toán phân cụm K-Means có độ phức tạp thấp nhất trong.

Có thể nhận được K cụm với một khoảng cách đến eNodeB và một gói tin có lịch trình truyền dẫn rõ ràng sau khi phân cụm. Khoảng cách từ điểm trung tâm cụm thứ K tới eNodeB được đại diện bởi tham số d_k (km) và khoảng cách tương tự giữa cụm thứ i và cụm thứ j được biểu diễn bởi $D(i, j) = |d_i - d_j|$. Sau đó, chỉ định phần mở đầu được đặt thành từng cụm theo các bước sau:

- Bước 1: Tổng số phần mở đầu cho mỗi cụm là xác định. Tổng số phần mở đầu cho cụm thứ i là l_i và tổng số phần mở đầu cho mỗi cụm tỷ lệ với cường độ truy cập trung bình của nó.
- Bước 2: Gán cụm thứ I là cụm khởi tạo và được bố trí phần mở đầu là $P(1 - l_i)$
- Bước 3: Sau đó, chỉ định một bộ mở đầu cho cụm thứ j. Nếu $D(i, j) > \beta$, cụm thứ j được gán cùng một phần mở đầu đặt là $P(1 - l_i)$. Nếu $D(i, j) < \beta$, cụm thứ j được gán bộ mở đầu truy cập ngẫu nhiên bổ sung $P(L - l_i + 1, L)$.

3.1.4 Đánh giá thuật toán

Để chứng minh hiệu quả của thuật toán. Kịch bản mạng NB-IoT bao gồm một trạm gốc và ba loại thiết bị đầu cuối với các đặc điểm dịch vụ khác nhau về vị trí, cường độ truy nhập và triển khai ở trung tâm của thành phố. Bán kính phủ sóng mạng là 10km. Các dịch vụ liên quan là được giả định là Camera bắn tốc độ, dịch vụ chia sẻ xe đạp, Dịch vụ chia sẻ ô tô. Số lượng UE của mỗi loại dịch vụ được tính toán. Các kết quả thống kê được thể hiện trong Bảng 3.1:

Bảng 3.1 Bảng theo dõi dịch vụ NB IOT [8]

Tên dịch vụ	Mã dịch vụ	Số lượng người dùng	Thời gian truy cập
Camera bắn tốc độ	1	104	3600
Chia sẻ xe đạp	2	426	60
Chia sẻ ô tô	3	51	30

Hình 3.2 là bản đồ phân bố thực tế tại một trạm enoteB.

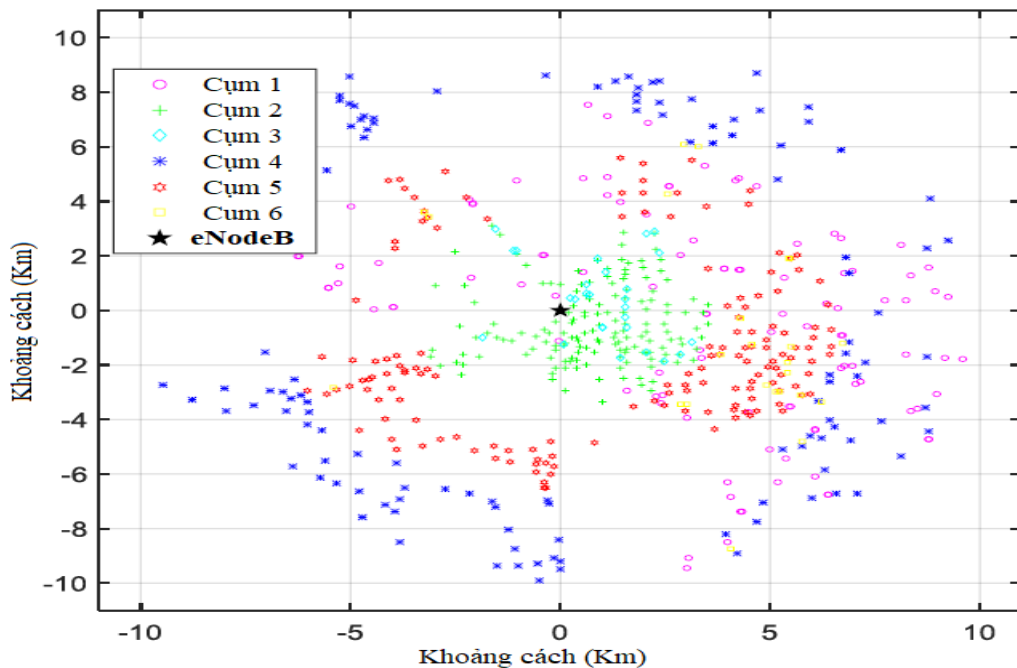


Hình 3.2 Phân bố dịch vụ IOT thực tế tại một trạm eNodeB [8]

Hình 3.3 là kết quả phân cụm. Từ hình 3.3 ta thấy thuật toán phân cụm đã chia tất cả các UE của các dịch vụ NB IOT giả định ban đầu thành sáu cụm với các khoảng cách và thời gian gửi gói dữ liệu khác nhau. Các cụm được phân phối xung quanh eNodeB. Cụm 2, 3 ở gần eNodeB hơn nhưng các cụm còn lại ở xa eNodeB hơn.

Khi phân cụm được thực hiện, khoảng cách giữa eNodeB và vị trí của mỗi trung tâm cụm có thể được xác định. Số lượng UE trong mỗi cụm cũng có thể được tính toán như sau:

- (i) Các cụm có khoảng cách tương tự nhau và thấp hơn α (km) được chỉ định cùng một tập hợp các phần mở đầu. Các thiết bị đầu cuối trong các cụm khác nhau với khoảng cách xa hơn α km có thể chọn đồng thời cùng một lời mở đầu. eNodeB có thể phân biệt và tạo ra hai thông báo RAR, không chỉ chứa phần mở đầu xác nhận thông tin, mà còn là giá trị TA cho quá trình cập nhật TA của thiết bị đầu cuối. Giá trị TA được chỉ định bởi eNodeB là khác nhau bởi vì sự khác biệt rõ ràng giữa hai thiết bị đầu cuối. Sau khi nhận được gói dữ liệu, thiết bị đầu cuối có thể giải mã chính xác gói dữ liệu RAR của chính nó bằng cách đánh giá giá trị TA.
- (ii) Các cụm có cùng khoảng cách giống nhau và khác nhau cường độ truy cập có thể được phân bổ các tài nguyên mở đầu giới hạn tới 48. Số phần mở đầu là tỷ lệ nghịch tỷ lệ với cường độ truy cập.



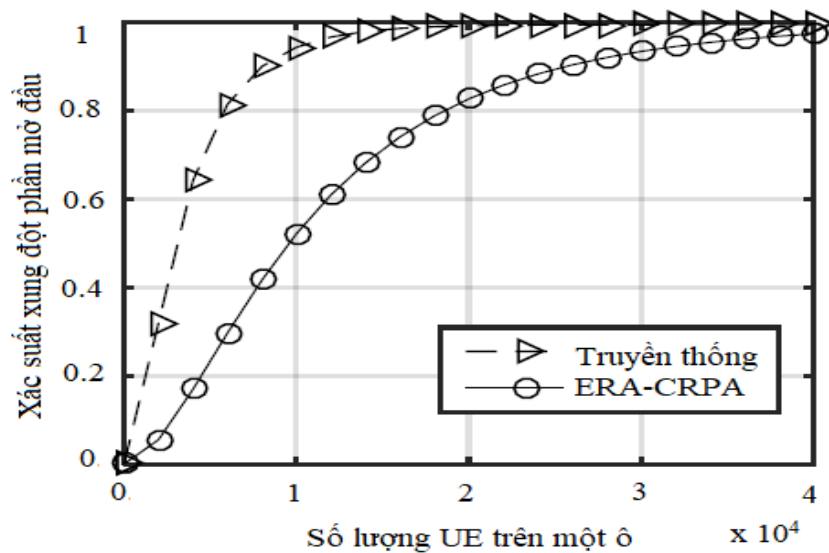
Hình 3.3 Bản đồ phân cụm người dùng theo khoảng cách [8]

Kết quả thu được được thể hiện trong bảng 3.2 [8]

Bảng 3.2 Bảng kết quả phân bố phần mở đầu [8]

ID Cụm	Khoảng cách TB (km)	Số lượng UE	Cường độ truy cập (Số báo cáo/s/ô)	Phân bố phần mở đầu
3	2.0325	27	0.900	P(1-12)
2	2.1225	157	2.6167	P(13-48)
5	5.2345	152	2.5333	P(1-33)
6	5.8461	24	0.8000	P(34-44)
1	6.0937	104	0.0289	P(45-48)
4	8.2366	117	1.9500	P(1-48)

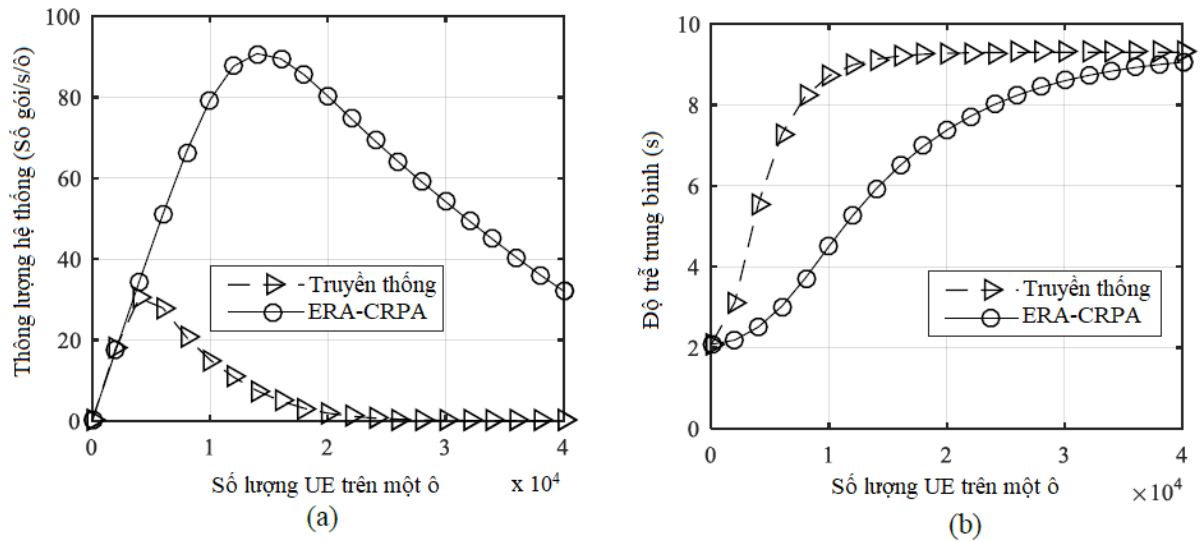
Hình 3.4 là xác suất xung đột của thuật toán ERA-CRPA theo kết quả mô phỏng.

**Hình 3.4 Xác suất xung đột phần mở đầu [8]**

Kết quả cho thấy rằng cơ chế truy cập ngẫu nhiên dựa trên thuật toán ERA-CRPA có xác suất xung đột mở đầu nhỏ hơn. Khi tổng số thiết bị đầu cuối là 10.000, xác suất va chạm dựa trên cơ chế truy cập truyền thống là 94,34% và trên Thuật toán ERA-CRPA chỉ là 52,11%, thấp hơn 44,76%. Vì thế, dựa trên kết quả trên, thuật toán ERA-CRPA có thể giảm xác suất một cách hiệu quả của sự va chạm mở đầu.

Sự khác biệt về thông lượng và độ trễ trung bình của hệ thống giữa cơ chế truyền thống và cơ chế truy cập dựa trên ERA-CRPA trong mạng NB-IoT được mô tả

theo hình 3.5: (a) Thông lượng với số lượng thiết bị đầu cuối. (b) Độ trễ trung bình của hệ thống với số lượng thiết bị đầu cuối.



Hình 3.5 So sánh thông lượng và độ trễ [8]

Hình trên cho thấy rằng thuật toán ERA-CRPA có tác động đáng kể đến thông lượng mạng NB-IoT và độ trễ trung bình của hệ thống. Khi số lượng thiết bị đầu cuối trong mạng đạt 14000, thông lượng của thuật toán ERA-CRPA đạt mức tối đa, gấp 12 lần thuật toán truyền thống trong cùng một tình huống. Khi tổng số thiết bị đầu cuối trong mạng là 40.000, thuật toán ERA-CRPA vẫn có thể đảm bảo một thông lượng lớn với 32k gói/s/cell, trong khi thông lượng của cơ chế truy cập ngẫu nhiên truyền thống là gần như bằng 0.

Kết luận: Giải pháp phân cụm theo khoảng cách và cường độ truy cập cho hiệu quả hơn khi giảm được phần mào đầu truy cập ngẫu nhiên, do đó tăng dung lượng mạng với số lượng đầu cuối lớn

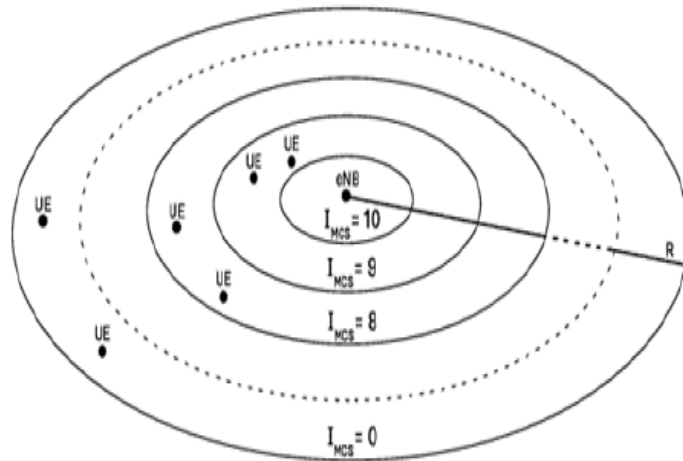
3.2 Giải pháp lựa chọn các giá trị định kỳ phù hợp

Xét một Ô được chia thành 11 hoặc 14 vùng đồng tâm rộng bằng nhau (Hình 3.6), mỗi vùng được biểu thị bằng một Điều chế và Mã hóa khác nhau (MCS).

3.2.1 Mô tả thuật toán

Thủ tục truy cập ngẫu nhiên NPRACH có thể được chia thành hai lớp:

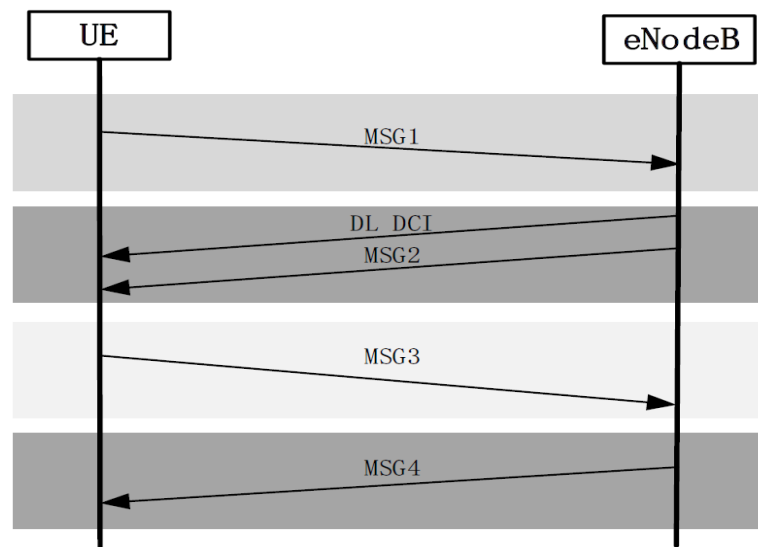
- UE-NB-IoT (UE) - Truy cập ngẫu nhiên.
- ENB-NB-IoT (ENB) - Truy cập ngẫu nhiên.



Hình 3.6 Phân bổ các MCS trong một ô

Khi đó thứ tự truy cập ngẫu nhiên như sau:

- 1) UE truy cập ngẫu nhiên: Khởi tạo quy trình bằng cách gửi phần mở đầu truy cập ngẫu nhiên MSG1. Phần mở đầu được chọn ngẫu nhiên trong số tất cả các phần mở đầu sau khi có sẵn tài nguyên NPRACH.



Hình 3.7 Quy trình truy cập ngẫu nhiên trong NB-IoT

- 2) ENB truy cập ngẫu nhiên: Quét tất cả các phần mở đầu để tìm các xung đột. Nếu xung đột được phát hiện, nó sẽ yêu cầu người dùng đầu cuối cố gắng gửi

lại một phần mở đầu khác trong lần xuất hiện NPRACH tiếp theo. Nếu không có xung đột xảy ra, nó sẽ gửi phản hồi về việc truy cập ngẫu nhiên đến người dùng đầu cuối MSG2.

- 3) Thiết bị đầu cuối di động sẽ nhận được phản hồi và gửi bản tin xác nhận MSG3.
- 4) Khi nhận được bản tin xác nhận, trạm gốc sẽ tự động gửi đến người dùng đầu cuối bản tin xác nhận cuối cùng MSG4.
- 5) Ở giai đoạn này, quá trình truy cập ngẫu nhiên được hoàn tất, người dùng đầu cuối bây giờ đã được kích hoạt và bắt đầu truyền (Hình 3.7).

Xét các chu kỳ NPRACH khác nhau (40, 80, 160, 240, 320, 640, 1280 và 2560ms) với các giá trị tham đầu vào như trong Bảng 3.3:

Bảng 3.3 Bảng giá trị đầu vào [11]

Bán kính ô	1 (km)
Thời lượng	20 (s)
Kích thước gói tin	256 (Byte)
Số lần gửi yêu cầu trong một giây	80-160
Loại truyền dẫn	Đơn tone
Độ rộng sóng mang	3.75 kHz
Thuật toán lập lịch	Round Robin

Các lần lặp lại cho phần mở đầu sẽ thuộc tập hợp sau $X = \{1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 \text{ và } 128\}$. Thời hạn phần mở đầu là 5.6 (ms). Nguồn kênh cho NPRACH sẽ bằng: $X * 5.6$ (ms). Nhận thấy thời lượng NPRACH ảnh hưởng tới số lần xung đột và độ trễ của hệ thống.

Theo nghiên cứu của [11] thì bảng sau sẽ chỉ ra số lần truy cập thành công và số xung đột xảy ra với cả 2 trường hợp trên, ứng với các thời lượng NPRACH khác nhau.

Bảng 3.4 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 40ms [11]

TH: 40ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập NPRACH thành công	Số người dùng bị xung đột	Số người dùng truy cập NPRACH thành công	Số người dùng bị xung đột
1040	1	0	3	0
1080	4	0	3	2
1120	1	0	5	0

1160	3	0	6	0
1200	3	2	9	4
1240	5	2	12	0
1280	6	0	5	2
1320	2	0	9	0
1360	2	0	8	0
1400	3	0	4	0
1440	2	0	2	2
1480	1	0	5	0
1520	7	0	8	2
1560	3	0	6	0
1600	2	0	7	2
1640	4	0	5	2
1680	3	0	10	0
1720	6	0	8	2
1760	2	0	4	0
1800	2	0	5	0
1840	4	0	6	2
1880	-	-	5	0
1920	4	0	6	2
1960	4	2	10	2
2000	4	2	9	0
2040	2	0	-	-
Tổng	80	8	160	24

Bảng 3.5 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 80ms [11]

TH: 80ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột
1040	1	0	3	0
1120	5	0	6	2
1200	8	0	11	10
1280	6	3	17	8
1360	7	0	19	4
1440	5	0	6	6
1520	8	0	13	6
1600	5	0	15	4
1680	5	2	13	4
1760	8	2	12	4
1840	8	0	11	6

1920	4	0	9	8
2000	8	2	19	6
2080	2	0	6	-
Tổng	80	9	160	68

Bảng 3.6 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 160ms [11]

TH: 160ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột
1120	6	0	8	3
1280	10	7	23	14
1440	8	8	23	14
1600	15	6	21	19
1760	21	0	22	22
1920	10	0	21	25
2080	10	0	23	19
2240	-	-	15	4
2400	-	-	4	0
Tổng	80	21	160	120

Bảng 3.7 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 240ms [11]

TH: 240ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột
1200	14	0	22	8
1440	13	5	24	22
1680	13	12	18	43
1920	0	10	17	62
2160	16	4	26	53
2400	4	0	27	26
2640	-	-	14	12
2880	-	-	12	0
Tổng	80	31	160	226

Bảng 3.8 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 320ms [11]

TH: 320ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột

1280	15	8	27	18
1600	16	14	27	40
1920	30	9	19	70
2240	13	6	23	64
2560	6	0	25	39
2880	-	-	16	23
3200	-	-	16	7
3520	-	-	5	2
3840	-	-	2	0
Tổng	80	37	160	263

Bảng 3.9 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 640ms [11]

TH: 640ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột	Số người dùng truy cập thành công	Số xung đột
1280	15	8	27	18
1920	20	35	21	95
2560	18	27	20	92
3200	23	4	19	73
3840	4	0	24	49
4480	-	-	24	25
5120	-	-	16	9
5760	-	-	7	2
6400	-	-	2	0
Tổng	80	74	160	363

Bảng 3.10 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 1280ms [11]

TH: 1280ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập NPRACH thành công	Số người dùng bị xung đột	Số người dùng truy cập NPRACH thành công	Số người dùng bị xung đột
1280	15	8	27	18
2560	22	43	20	113
3840	18	25	18	95
5120	23	2	22	73
6400	2	0	23	50
7680	-	-	27	23
8960	-	-	12	11
10240	-	-	8	3

11520	-	-	3	0
Tổng	80	78	160	386

Bảng 3.11 Bảng hiệu năng NPRACH cho thời lượng 2560ms [11]

TH: 2560ms	Trường hợp 80 người dùng		Trường hợp 160 người dùng	
Số lượng khung phụ	Số người dùng truy cập NPRACH thành công	Số người dùng bị xung đột	Số người dùng truy cập NPRACH thành công	Số người dùng bị xung đột
2560	15	65	17	143
5120	18	47	16	127
7680	24	23	24	103
10240	12	11	22	81
12800	11	0	21	60
15360	-	-	24	63
17920	-	-	22	14
20480	-	-	12	2
23040	-	-	2	0
Tổng	80	146	160	593

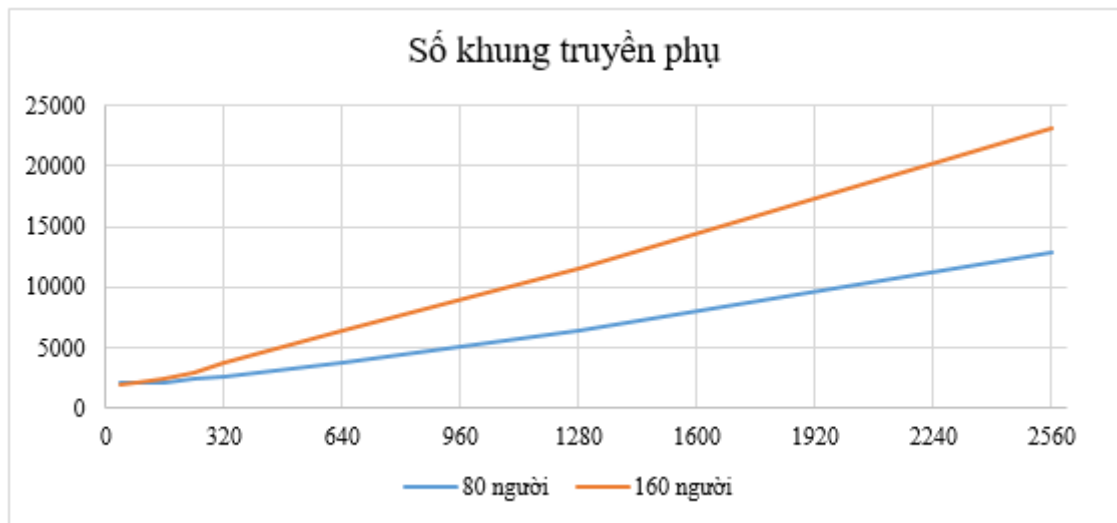
3.2.2 Đánh giá thuật toán

Dựa trên các kết quả trên ta có biểu đồ thể hiện so sánh giữa số lượng khung truyền tương ứng với từng thời lượng (Bảng 3.12).

Bảng 3.12 Bảng so sánh số lượng khung truyền phụ ở cả 2 trường hợp

Chu kỳ NPRACH	80 người	160 người
40	2040	2000
80	2080	2080
160	2080	2400
240	2400	2880
320	2560	3840
640	3840	6400
1280	6400	11520
2560	12800	23040

Như thể hiện trong Bảng 3.12 trên đây thì tất cả người dùng đạt được NPRACH ở số khung phụ 2040 đối với chu kỳ NPRACH là 40ms và mất nhiều thời gian hơn khi chu kỳ tăng lên, đạt đến 12800 khung phụ khi chu kỳ 2560ms được chọn.



Hình 3.8 Số lượng khung truyền phụ cần cho truy cập thành công NPRACH

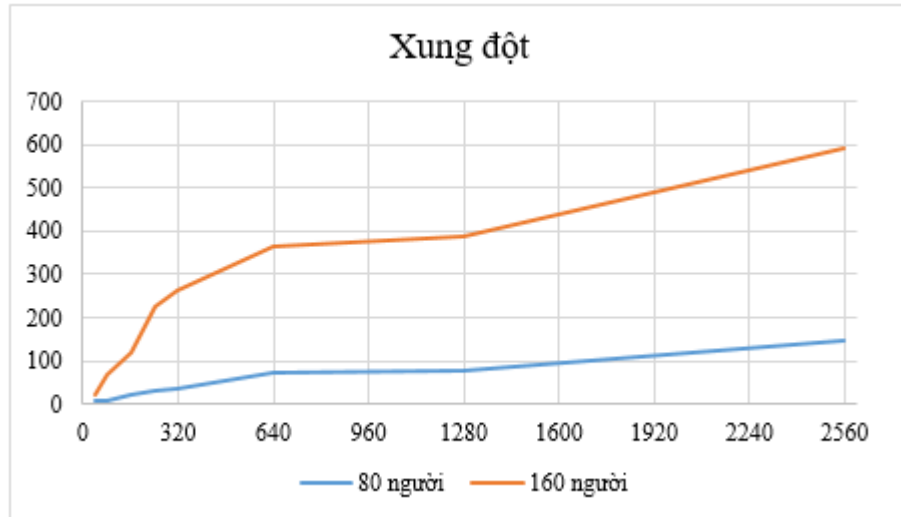
Khi lưu lượng truy cập tăng lên, các chu kỳ ngắn (40ms-240ms) vẫn có số lượng tương tự và thời gian ngắn hơn cho đến khi tất cả người dùng có thể đạt được NPRACH trở lên, trong khi các chu kỳ dài hơn (320ms-2560ms) đòi hỏi nhiều thời gian hơn cho đến khi tất cả người dùng có thể gửi thành công lời mở đầu do số lần va chạm tăng lên khi khoảng thời gian giữa các khoảng thời gian truy cập ngẫu nhiên có xu hướng tăng lên (Bảng 3.13).

Bảng 3.13 Bảng so sánh số lượng xung đột ở cả 2 trường hợp

Chu kỳ NPRACH	80 người	160 người
40ms	8	24
80ms	9	68
160ms	21	120
240ms	31	226
320ms	37	263
640ms	74	363
1280ms	78	386
2560ms	146	593

Ta dễ thấy chu kỳ càng lớn thì số lượng xung đột càng tăng mạnh (Hình 3.9). Nhìn vào bảng 3.13 ta thấy nhiều người dùng cạnh tranh để hoàn thành thủ tục truy cập ngẫu nhiên trong cùng một khoảng thời gian dẫn đến tăng số lượng xung đột và

tương tự là tăng tỷ lệ trễ đặc biệt đối với các chu kỳ 640, 1280 và 2560ms. Số lượng khung truyền phụ cũng tăng lên theo từng chu kỳ.



Hình 3.9 Xung đột theo lượng người dùng

Dựa trên báo cáo của [11] nhận thấy với tất cả các chu kỳ NPRACH khác nhau cho mỗi giá trị lặp lại đều xác định cái nào đạt được số lượng gói được phân phối tối đa, với hai tình huống lưu lượng, lưu lượng thấp với UE = 40 và lưu lượng cao với UE = 80.

Bảng 3.14 thể hiện số lượng gói được gửi theo số lần lặp lại khác nhau và chu kỳ NPRACH khác nhau với số lượng UE = 40 [11]

Bảng 3.14 Bảng số lượng gói được gửi theo số lần lặp với số lượng UE = 40

UE = 40	Chu kỳ NPRACH (ms)							
Số lần lặp lại	40	80	160	240	320	640	1280	2560
1	100	100	105	103	103	99	79	48
2	87	99	105	103	103	99	81	48
4	53	87	104	101	101	99	81	48
8	0	54	98	102	100	98	83	48
16	0	0	47	89	98	94	75	48
32	0	0	0	10	59	89	76	48
64	0	0	0	0	0	40	65	45
128	0	0	0	0	0	0	31	37

Bảng 3.15 thể hiện số lượng gói được gửi theo số lần lặp lại khác nhau và chu kỳ NPRACH khác nhau với số lượng UE = 80.

Bảng 3.15 Bảng số lượng gói được gửi theo số lần lặp với số lượng UE = 80

UE = 80	Chu kỳ NPRACH (ms)							
Số lần lặp lại	40	80	160	240	320	640	1280	2560
1	186	188	204	202	167	167	107	28
2	162	188	204	202	197	167	106	28
4	95	159	201	200	200	172	105	28
8		92	183	193	188	168	104	28
16			80	164	173	154	104	29
32				17	110	156	104	29
64						73	84	27
128							45	22

So sánh trong Bảng 3.15 cho thấy rằng, nếu số lần lặp lại được yêu cầu là nhỏ {1, 2, 4}, thì tài nguyên đường lên dự trữ Kênh cho NPRACH bị hạn chế và ít tài nguyên kênh nhất để truyền dữ liệu (NPUSCH), do đó cho thấy chu kỳ trung bình, chẳng hạn như 160ms cung cấp hiệu suất tốt hơn, vì số lượng và chậm nhỏ, nhiều gói được phân phối hơn.

Khi số lần lặp lại tăng lên, kết quả trên cho thấy rằng chu kỳ dài hơn mang lại hiệu suất tốt hơn mặc dù số lượng xung đột tăng lên, vì quá trình truyền dữ liệu đòi hỏi nhiều tài nguyên hơn để tăng số lượng gói được phân phối.

Kết luận: Giải pháp lựa chọn các giá trị định kỳ phù hợp cho hiệu năng tốt hơn với các chu kỳ có độ dài trung bình như 160ms và 320ms do đạt được sự cân bằng tốt giữa hai kênh vật lý đường lên NPRACH và NPUSCH với số lượng và chậm chấp nhận được và số lượng gói tin được chuyển giao cao. Kết quả cho thấy rằng việc tăng gấp đôi số lượng người dùng từ 40 lên 80 không ảnh hưởng đáng kể đến hiệu năng, vì vậy số lượng người dùng không được coi là yếu tố trong việc lựa chọn tính chu kỳ NPRACH.

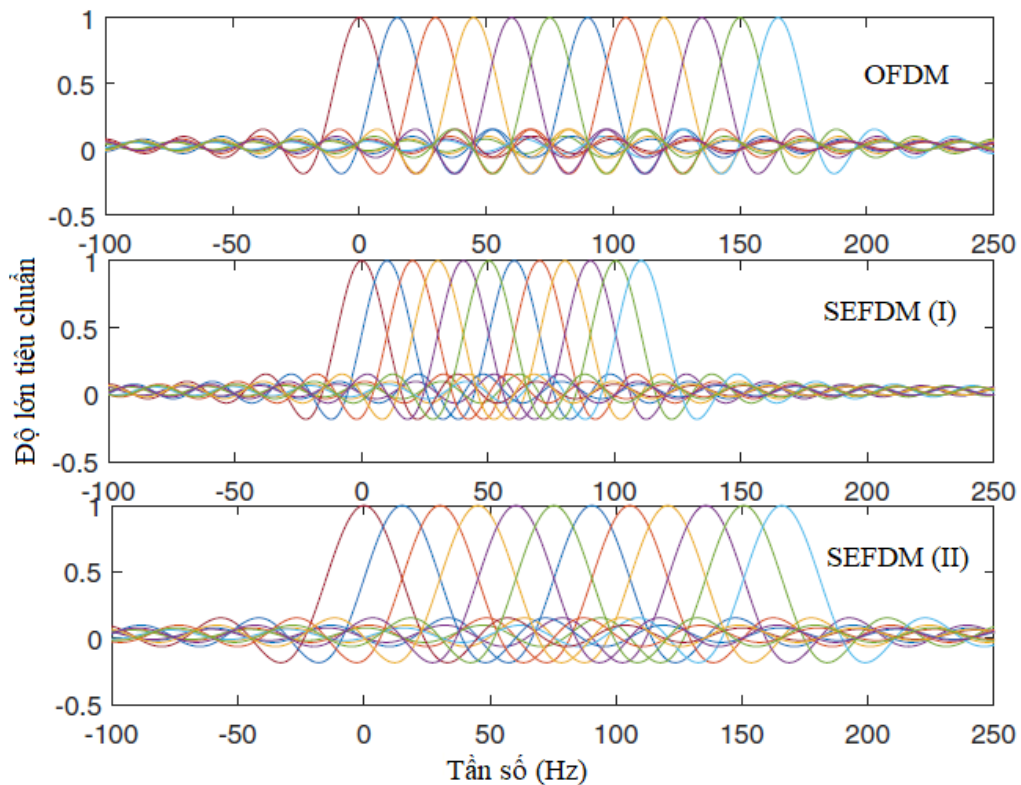
3.3 Giải pháp sử dụng dạng sóng tín hiệu không trực giao

Theo tiêu chuẩn 3GPP NB-IoT, định dạng điều chế tối đa mà NB-IoT có thể hỗ trợ là QPSK, điều này làm cho các ứng dụng IoT nhạy cảm với tốc độ dữ liệu. Để khắc phục hạn chế này, điều chế bậc cao hơn như 8PSK hoặc dạng sóng tín hiệu phi trực

giao nâng cao có thể được sử dụng. Điều này cần đề xuất một khung NB-IoT nâng cao, eNB-IoT, áp dụng sự phân chia tần số hiệu quả theo phương pháp ghép kênh dạng sóng có phổ không trực giao (SEFDM) [15] vượt ra ngoài tiêu chuẩn ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (OFDM).

3.3.1 Dạng sóng NB-IOT nâng cao

Ý tưởng ban đầu của dạng sóng không trực giao là để đóng gói các sóng mang phụ gần hơn về tần số, do đó băng thông được nén như trong hình dưới là “SEFDM loại I”. Lợi ích của loại tín hiệu này là truyền cùng một lượng dữ liệu trong khi chiếm băng thông hẹp hơn.



Hình 3.10 Các lược đồ phân bố sóng mang phụ cho tín hiệu đa sóng mang

Do đó, công suất nhiễu được giảm thiểu trên băng thông tín hiệu hẹp hơn và số lượng các thiết bị IoT được kết nối có thể được tăng lên thông qua việc chiếm băng thông đã lưu. Hơn nữa, dựa trên Loại I này dạng sóng tín hiệu, tốc độ dữ liệu được cải thiện hơn trong “SEFDM-loại II”. Ý tưởng của Loại II là tăng tốc độ dữ liệu trên mỗi

sóng mang phụ trên tín hiệu Loại I. So sánh với tín hiệu OFDM (Hình 3.10). Tín hiệu OFDM với 12 sóng mang con, tốc độ dữ liệu R_b . Tín hiệu SEFDM loại I với 12 sóng mang con, hệ số $\alpha=0.67$, tốc độ dữ liệu R_b . Tín hiệu SEFDM loại II với 12 sóng mang con, hệ số $\alpha=0.67$, tốc độ dữ liệu $1.5 R_b$. Trong đó α là hệ số nén băng thông.

3.3.2 Thuật toán SD loại I

Do mất tính trực giao giữa các sóng mang phụ, các tín hiệu nhận được chứa nhiễu giữa các sóng mang (ICI) nghiêm trọng dẫn đến tăng tỷ lệ lỗi. Một kỹ thuật với độ phức tạp giảm được gọi là giải mã hình cầu (SD) đã được đề xuất và sửa đổi cho tín hiệu SEFDM. Thuật toán SD đạt được hiệu suất tối đa bằng cách tìm kiếm giải pháp tốt nhất trong một không gian hình cầu xác định trước. Việc tìm kiếm ước tính tốt nhất cho S_{SD} trong SEFDM được định nghĩa là:

$$S_{SD} = \arg \min_{S \in O^N} \|R - CS\|^2 \leq g \quad (3.3)$$

Với $\|\cdot\|$ biểu thị cho khoảng cách Euclid, O^N là tập hợp tất cả các ký hiệu có thể kết hợp. Giải pháp tối ưu là giải pháp có khoảng cách Euclid nhỏ nhất trong phạm vi được xác định trước bán kính ban đầu g , bằng khoảng cách giữa các ký hiệu được giải điều chế R và giới hạn ước lượng ban đầu S_{ZF} , trong đó S_{ZF} là ước tính Zero forcing cái mà có thể nhận được bằng cách sử dụng hàm làm tròn $S_{ZF} = \lceil C^{-1}R \rceil$. Bán kính ban đầu được biểu thị bằng phương trình:

$$g = \|R - CS_{ZF}\|^2 \quad (3.4)$$

3.3.3 Thuật toán SD loại II

Độ phức tạp tính toán của thuật toán SD phụ thuộc vào kích thước của ma trận tương quan C , cái mà được liên kết với số lượng các sóng mang con. Để giảm bớt sự phức tạp, người ta phương pháp chuyển đổi ma trận linh hoạt để giảm độ phức tạp.

Nghiên cứu ma trận tương quan C thì thấy rằng đây là ma trận thưa thớt nơi tập trung phần lớn năng lượng ở đường chéo và lân cận. Vì C là một ma trận thưa thớt, do đó không hiệu quả khi thực hiện phát hiện tín hiệu dựa trên toàn bộ C .

$$C = \begin{bmatrix} C_{1,1} & C_{1,2} & \cdots & C_{1,N} \\ C_{2,1} & C_{2,2} & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & C_{N-1,N} \\ C_{N,1} & \cdots & C_{N,N-1} & C_{N,N} \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Một cách hiệu quả là biến đổi ma trận C ($N \times N$) thành một ma trận dải mới \mathbb{C} bằng cách nhân với ma trận đơn vị G_n (gọi là ma trận con) có kích thước $(q \times q)$. Do đó, ma trận C được chuyển đổi sang một định dạng mới như được hiển thị như bên dưới đây:

$$\mathbb{C} = \begin{bmatrix} G_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & G_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & G_{N-q+1} \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Với ma trận con G_n được tính theo công thức:

$$G_n = \begin{bmatrix} C_{n,n} & C_{n,n+1} & \cdots & C_{n,n+q-1} \\ C_{n+1,n} & C_{n+1,n+1} & \cdots & C_{n+1,n+q-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n+q-1,n} & C_{n+q-1,n+1} & \cdots & C_{n+q-1,n+q-1} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Do đó, kích thước của ma trận \mathbb{C} là $M \times M$ trong đó $M = (N - q + 1) \times q$. Để nhận ra tín hiệu, vector ký hiệu giải điều chế \mathbf{R} được chuyển đổi sang một định dạng mới \mathbb{R} như sau:

$$\mathbb{R}_n = G_n^{-1} B_n \quad (3.8)$$

Trong đó $B_n = [R(n), R(n+1), \dots, R(n+q-1)]$. Và G_n^{-1} được suy ra từ ma trận:

$$\mathbb{C}^{-1} = \begin{bmatrix} G_1^{-1} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & G_2^{-1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & G_{N-q+1}^{-1} \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

3.3.4 Đánh giá thuật toán

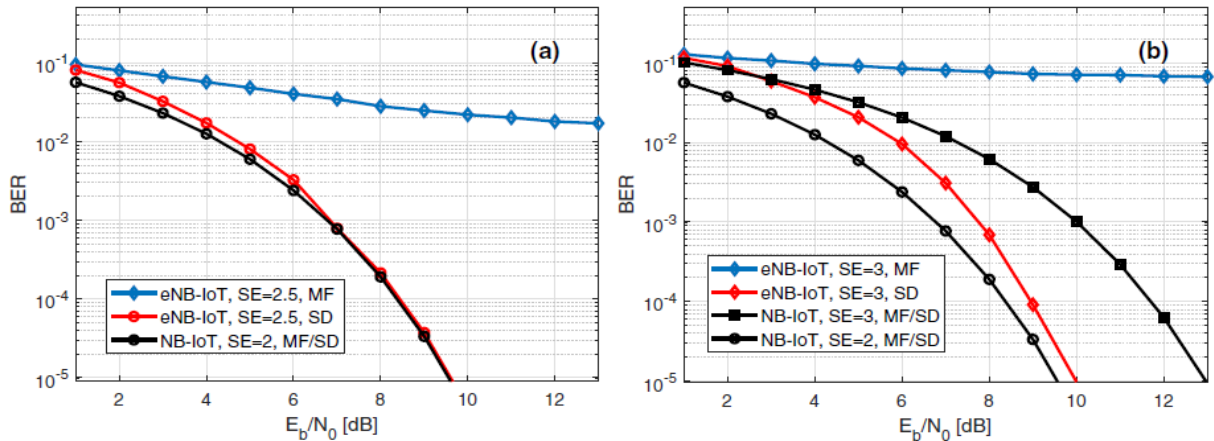
Bảng bên dưới thể hiện sự so sánh về hiệu suất phổ (SE) và cải thiện tốc độ dữ liệu. Theo [15]

Bảng 3.16 Bảng so sánh hiệu suất phổ

Tham số	Hiệu suất phổ (bit/s/Hz)	Tốc độ dữ liệu
NB-IOT (Thường)	2 (QPSK)	R_b
eNB-IOT	2.5 (QPSK)	$1.25 R_b$ (25%)
NB-IOT	3 (8PSK)	$1.5 R_b$ (50%)
eNB-IOT	3 (QPSK)	$1.5 R_b$ (50%)

Để cho thấy sự cải thiện dữ liệu bằng cách sử dụng định dạng điều chế bậc cao hơn 8PSK. Đối với các tín hiệu eNB IoT chỉ QPSK được sử dụng (Bảng 3.16).

Đối với kỹ thuật SD loại I cho hiệu suất phổ là 2.5bit/s/Hz và 3bit/s/Hz. Cả hai số liệu cho thấy rằng do ICI trong tín hiệu eNB-IoT (SEFDM), với bộ lọc trùng khớp (MF) thông thường có thể không khôi phục được tín hiệu một cách hiệu quả.



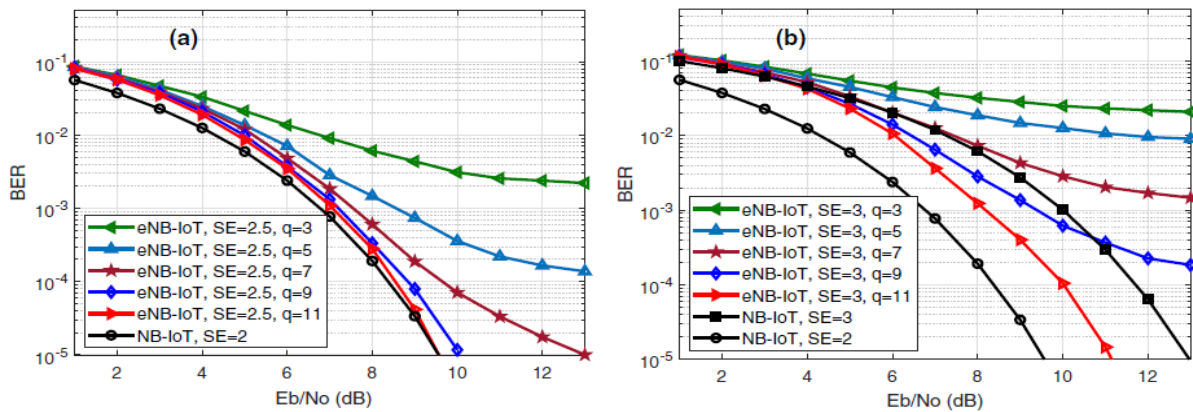
Hình 3.11 So sánh hiệu năng trong trường hợp dùng kỹ thuật SD loại I

(a) $\alpha=0.8$ và $\alpha=0.67$

Trong hình 3.11 (a), bằng cách sử dụng thuật toán SD loại I, tín hiệu eNB-IoT với hiệu suất phổ 2.5bit/s/Hz có thể đạt được hiệu suất tương tự tín hiệu NB-IoT thông thường với hiệu suất phổ 2 bit/s/Hz. Tốc độ dữ liệu được cải thiện 25% mà không làm giảm hiệu suất. Trong hình 3.11 (b), với hiệu suất phổ 3bit/s/Hz, tín hiệu eNB-IoT với

điều chế QPSK vượt trội hơn NB-IoT thông thường với điều chế 8PSK là 3 dB tại $BER = 10^{-5}$. Nó chỉ ra rằng để đạt được tốc độ dữ liệu cao hơn, tín hiệu dạng sóng không trực giao hiệu quả hơn điều chế bậc cao hơn 8PSK.

Ảnh hưởng của ma trận $q \times q$ (ma trận con) được minh họa trong dưới. Trong hình 3.12 (a), sử dụng ma trận con 3×3 cho hiệu suất BER của eNB-IoT khác rất xa so với kết quả của NB-IoT. Bằng cách tăng kích thước ma trận con lên 11×11 , hiệu suất đạt được tương tự như NB-IoT. Điều này cho thấy rằng hiệu suất tối ưu có thể đạt được bằng việc giảm độ phức tạp bằng cách sử dụng kỹ thuật SD loại II. Kết quả tương tự được quan sát trong hình 3.12 (b).



Hình 3.12 So sánh hiệu năng trong trường hợp dùng kỹ thuật SD loại II

Kết luận: Giải pháp cải thiện tốc độ dữ liệu tốt hơn 50% so với thông thường. Yêu cầu công suất truyền ít hơn 3 dB (ở mức $BER = 10^{-5}$) do đó năng lượng tiết kiệm có thể mở rộng tuổi thọ pin của các thiết bị IoT hoặc kéo dài thời gian truyền tín hiệu.

3.4 Đề xuất mô hình áp dụng tại quần đảo Cô tô

3.4.1 Tiềm năng áp dụng

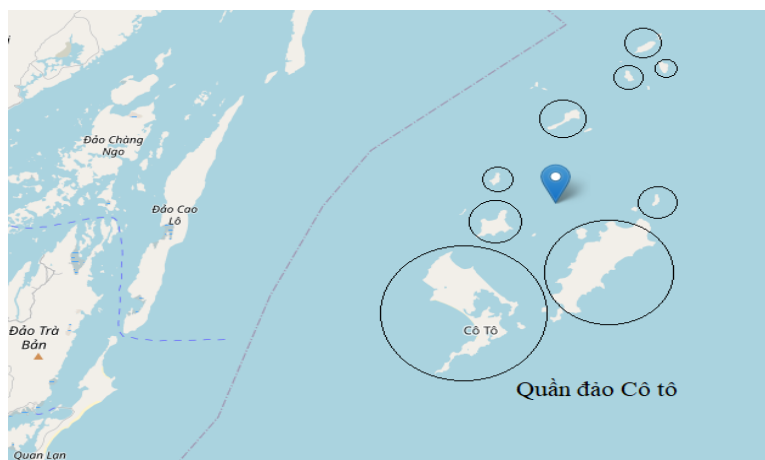
Cô Tô [4] là một quần đảo trong Vịnh Bắc Bộ thuộc vùng đất tỉnh Quảng Ninh, Việt Nam. Có diện tích $47,3 \text{ km}^2$, dân số hơn 4.985 người. Quần đảo Cô Tô có khoảng hơn 50 đảo, hòn (đảo nhỏ) và đá (đảo ngầm). Cô Tô có địa hình đồi núi. Đất rừng rộng

2.200 ha, đất Cô Tô có nông nghiệp đến (771 ha) chiếm 20% diện tích đất tự nhiên, trong đó một nửa số có khả năng cấy lúa, trồng màu, gần nửa có khả năng chăn thả gia súc và trồng cây ăn quả.

Rừng tự nhiên đa dạng với nhiều loại gỗ tốt. Đảo Thanh Lân còn có cam, quýt, chuối đã nhiều năm thành sản phẩm nổi tiếng trong tỉnh. Có nhiều loại dược liệu quý hiếm như hương nhu, sâm đất, thầu dầu tía... trên mọi đảo. Động vật rừng núi quý hiếm ở đảo Thanh Lân có cả đàn khỉ vàng chừng 100 con. Nghề đánh bắt tôm, cá, mực... ở đảo Cô Tô đã ở giai đoạn cạn kiệt nên nhiều loại hải sản bị cấm khai thác ...

Như vậy công nghệ truyền thông NB-IOT có thể áp dụng ở Cô tô để:

- ✓ Quản lý nông nghiệp, xây dựng mô hình nông nghiệp thông minh.
- ✓ Quản lý gỗ rừng, động vật quý hiếm trên đảo.
- ✓ Quản lý đánh bắt thủy, hải sản.
- ✓ Quản lý hiện trạng các đảo nhỏ, đá ngầm.
- ✓ Xây dựng hệ thống dẫn đường, cảnh báo tàu thuyền khi đến gần đảo.



Hình 3.13 Quần đảo Cô tô

3.4.2 Mô hình giải pháp quản lý thực thể trên quần đảo

Đối với mô hình Nông nghiệp thông minh ứng dụng IOT, đã có nhiều công trình nghiên cứu và đề xuất ứng dụng [4]. Tác giả sẽ đi sâu vào giải pháp quản lý các thực thể trên đảo: Gỗ quý, gỗ lâu năm (Nhóm 1, Thực vật), Động vật quý hiếm (Nhóm

2, Động vật), Các đảo nhỏ, bãi cạn, bãi ngầm (Nhóm 3, Đảo nhỏ), Nhóm các tàu thuyền khai thác đánh bắt gần đảo (Nhóm 4, Tàu thuyền)....

Các thực thể này sẽ được gắn thiết bị, cảm biến hỗ trợ NB-IOT để phản hồi thông tin về định vị, thông tin về cảm biến... Từ đó giúp chúng ta quản lý, giám sát nếu có việc chất phá gỗ quý hiếm, giám sát số lượng động vật quý hay quản lý việc khai thác đánh bắt tôm cá trên đảo hợp lý để không bị cạn kiệt tài nguyên thiên nhiên. Ngoài ra các tàu đến gần đảo, thay vì quan trắc ngọn hải đăng trên đảo, có thể sử dụng mạng NB-IOT để xác định vị trí sớm từ xa. Ở môi trường biển đảo, vấn đề vật cản xây dựng là gần như không đáng kể. Các thực thể trên đảo là cố định hoặc di chuyển hạn chế trong một phạm vi nhỏ. Do đó vấn đề ảnh hưởng nhất chính là khoảng cách từ các thực thể tới trung tâm kiểm soát. Khi đó giải pháp phân cụm theo khoảng cách và cường độ truy cập là cần thiết. Về vấn đề lựa chọn giá trị định kỳ thì chúng ta nên sử dụng các chu kỳ có độ dài trung bình (chẳng hạn như 160 mili giây và 320 mili giây) vì chúng đạt được sự cân bằng tốt giữa hai kênh vật lý đường lên NPRACH và NPUSCH với số lượng và chậm chấp nhận được và số lượng gói tin được phân phối cao hơn.



Hình 3.14 Mô hình quản lý thực thể

Kết luận chương 3

Nội dung chương này tập trung vào 3 giải pháp chính nhằm nâng cao hiệu năng máy thu đường tải lên như phân cụm theo khoảng cách và cường độ truy cập, giúp phân bổ dữ liệu phù hợp và cân đối hơn. Giải pháp tối ưu hiệu suất kênh NPRACH bằng cách lựa chọn các giá trị định kỳ phù hợp, giúp tránh được các xung đột giữa các người dùng mà vẫn đảm bảo hiệu quả về mặt hiệu năng. Giải pháp tăng tốc độ dữ liệu bằng cách thay đổi định dạng điều chế hoặc dạng sóng tín hiệu không trực giao. Các kết quả kiểm nghiệm của các tác giả khác chứng minh được hiệu quả của giải pháp. Từ đó vận dụng, đề xuất mô hình vào quần đảo Cô Tô trong việc giám sát, quản lý các thực thể trên đảo. Việc chính phủ ưu tiên áp dụng IOT trong nông nghiệp thông minh cũng thể hiện sự cần thiết của việc áp dụng công nghệ truyền thông NB-IOT trong tình hình thực tế.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Quay lại bài toán giả thiết ban đầu, mục tiêu của bài viết là tiền đề để xây dựng các mô hình quản lý, giám sát thực thể ở vùng sâu vùng xa, biển đảo... Với chi phí thấp, hiệu quả cao và thời gian sử dụng lâu dài. Sự ra đời của công nghệ truyền thông diện rộng, công suất thấp LPWAN mang đến nhiều giải pháp tốt. Trong đó công nghệ NB-IOT cho thấy tiềm năng áp dụng, với chi phí thấp, tốc độ truyền dữ liệu cao, bảo mật tốt. Sự ưu tiên của chính phủ trong việc áp dụng IOT vào Nông nghiệp thông minh, sẽ tạo cơ hội thuận lợi để đầu tư phát triển NB-IOT cho các khu vực vùng sâu, vùng xa, vùng hải đảo, nơi mà các công nghệ truyền thông không dây thông thường khó triển khai hoặc triển khai với chi phí lớn. Các công nghệ Cellular hay vệ tinh là giải pháp không khả hữu khi mà chi phí đầu tư lớn, nhiều trạm thu phát và đặc biệt là hiệu quả không cao.

Luận văn đã trình bày những khái niệm cơ bản về truyền thông LPWAN và các vấn đề liên quan trong chương 1. Từ việc phân tích, lựa chọn giải pháp phù hợp tới các tham số đánh giá hiệu năng hệ thống. Các mục tiêu thiết kế trong các bản ban hành mà tổ chức 3GPP đã đặt ra. Chương 2 đã trình bày chi tiết về mục tiêu thiết kế máy thu, đường tải lên NB-IOT và phân tích đánh giá các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu năng như khoảng cách truyền dẫn, mật độ người dùng hay vật cản xây dựng. Từ đó chương 3 đưa ra các giải pháp nâng cao hiệu năng, đánh giá các giải pháp qua kết quả mô phỏng (tham khảo từ các tác giả khác). Cuối cùng là đề xuất mô hình ứng dụng ở quần đảo Cô tô.

Hướng nghiên cứu của đề tài trong tương lai là xây dựng mô hình áp dụng chi tiết tại quần đảo Cô tô, nghiên cứu chính xác các yếu tố ảnh hưởng khác như thời tiết, khí hậu, mật độ thực thể hay các yếu tố về kinh tế. Từ đó xây dựng mô hình hiệu quả với chi phí rõ ràng hoặc có thể ước lượng dựa trên kết quả mô phỏng và kiểm nghiệm thực tế. Các giải pháp phân cứng cho các thiết bị NB-IOT người dùng cũng sẽ được nghiên cứu và lựa chọn. Mục tiêu cuối cùng là khả dụng ở môi trường thực tế và có hiệu quả kinh tế nổi bật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tài liệu Tiếng việt

- [1] ICTnew. *Dự đoán sự bùng nổ của Internet of Things (IoT) vào năm 2020*. [Online] 2019. Available: <http://ictvietnam.vn/du-doan-su-bung-no-cua-internet-of-things-iot-vao-nam-2020-1435.htm>.
- [2] Tran Phuong Dung. *IoT trong nông nghiệp: Năm công nghệ sử dụng cho canh tác thông minh và những thách thức*. [Online] 2018. Available: <https://helpex.vn/article/iot-trong-nong-nghiep-nam-cong-nghe-su-dung-cho-canh-tac-thong-minh-va-nhung-thach-thuc---5c6b9bbeae03f61e2464dd78>
- [3] Nguyen Viet Thong. *Mạng LPWAN – So Sánh Các Công Nghệ: LoRa, Sigfox, NB-IoT, LTE-M*. [Online] 2019. Available: <https://doluongtudong.com/so-sanh-cac-cong-nghe-mang-lpwan/>.
- [4] Wikipedia. *Quần đảo Cô tô*. [Online] 2020. Available: https://vi.wikipedia.org/wiki/C%C3%B4_T%C3%B4.

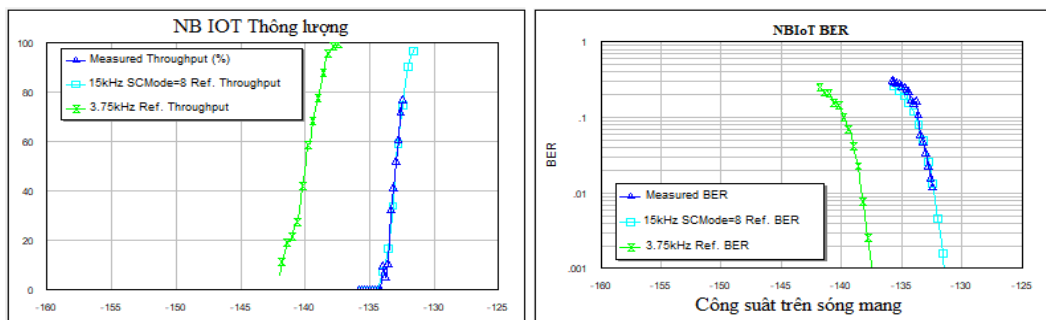
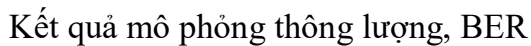
Tài liệu Tiếng anh

- [5] 3GPP. *Standardization of NB-IOT completed*. [Online] 2016. Available: https://www.3gpp.org/news-events/1785-nb_iot_complete.
- [6] Chakrapani, Arvind. *NB-IoT Uplink Receiver Design and Performance Study*. s.l. : IEEE, 2019.
- [7] Collins Burton Mwakwata, Hassan Malik, Muhammad Mahtab Alam, Yannick Le Moullec, Sven Parand, and Shahid Mumtaz. *From Physical (PHY) and Media Access Control (MAC) Layers Perspectives*. 2020.
- [8] Fan Wu, (Member, IEEE), Baohou Zhang, Wenhao Fan, Xingkang Tian, Sijia Huang, Cuiping Yu, Yuan'an Liu. *An Enhanced Random Access Algorithm Based on the Clustering-Reuse Preamble Allocation in NB-IoT System*. s.l. : IEEE, 2017.

- [9] Gangyong Jia, Yujie Zhu, Youhuizi Li, Zongwei Zhu, Li Zhou. *Analysis of the Effect of the Reliability of the NB-Iot Network on*. s.l. : IEEE, May, 2020.
- [10] J. Wang, C. Ju and Y. Gao. *A PSO based energy efficient coverage control algorithm for wireless sensor networks*, pp. 433-446. vol. 56. 2018.
- [11] Maha Medhat, Khaled ElShafey, Ali Rashed. *Evaluation of Optimum NPRACH Performance in NB-IoT Systems*. Vol 6. 2019.
- [12] PELAEZ, AGUSTIN. LoRaWAN vs NB-IoT, A Comparison Between IoT Trend-Setters. [Online] 04 2020. Available: <https://ubidots.com/blog/lorawan-vs-nb-iot/>.
- [13] Rapeepat Ratasuk, Benny Vejlgaard, Nitin Mangalvedhe, Amitava Ghosh. *NB-IoT system for M2M communication* . s.l. : IEEE, August 2016.
- [14] Research, ABI. *LORAWAN and NB-IOT competitor complement*. Oyster Bay, New York 11771 USA : s.n., Oct, 2019.
- [15] Tongyang Xu, Izzat Darwazeh. *Uplink Narrowband IoT Data Rate Improvement: Dense Modulation Formats or Non-Orthogonal Signal Waveforms*. s.l. : IEEE, 2018.
- [16] Usman Raza, Parag Kulkarni, and Mahesh Sooriyabandara. *Low Power Wide Area Networks*. 2017. Vols. P1-2.
- [17] Wikipedia. *Single-carrier FDMA*. [Online] 2020. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Single-carrier_FDMA.
- [18] X. Lin, A. Adhikary, and Y.-P. E. Wang. *Random Access Preamble Design and Detection for 3GPP Narrowband IoT systems*. Vol 5. 2016.

1. Mạch nguyên lý mô phỏng NB IOT ở chế độ trong band LTE

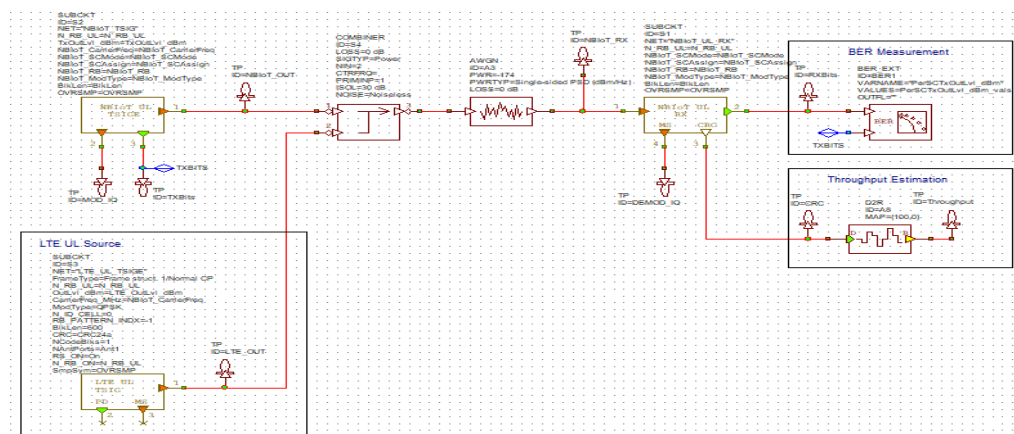
STT	N_RB_UL	50
1	NB IoT_CarrierFreq	3500
2	NB IoT_SCMode	8
3	NB IoT_SCAssign	0
4	NB IoT_RB	15
5	OVR SMP	2
6	NB IoT_ModType	0
7	BlkLen	32
8	TxOutLvlStart_dBm	-125
9	TxOutLvlSpan_dBm	6
10	TxOutLvlStep_dBm	0.2
11	LTE_OutLvl_dBm	-110



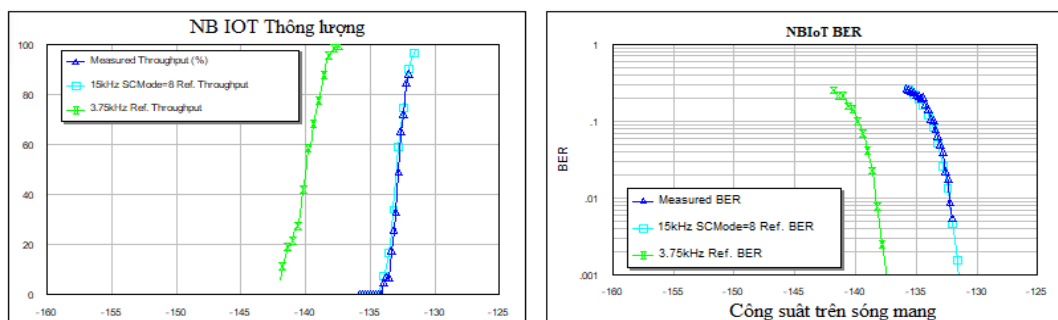
2. Mạch nguyên lý mô phỏng NB IOT ở chế độ band bảo vệ (LTE)

*Tham số đầu vào:

STT	N_RB_UL	50
1	NB IoT_CarrierFreq	3500
2	NB IoT_SCMode	8
3	NB IoT_SCAssign	0
4	NB IoT_RB	-1
5	OVRSMF	2
6	NB IoT_ModType	0
7	BlkLen	32
8	TxOutLvlStart_dBm	-125
9	TxOutLvlSpan_dBm	6
10	TxOutLvlStep_dBm	0.2
11	LTE_OutLvl_dBm	-110



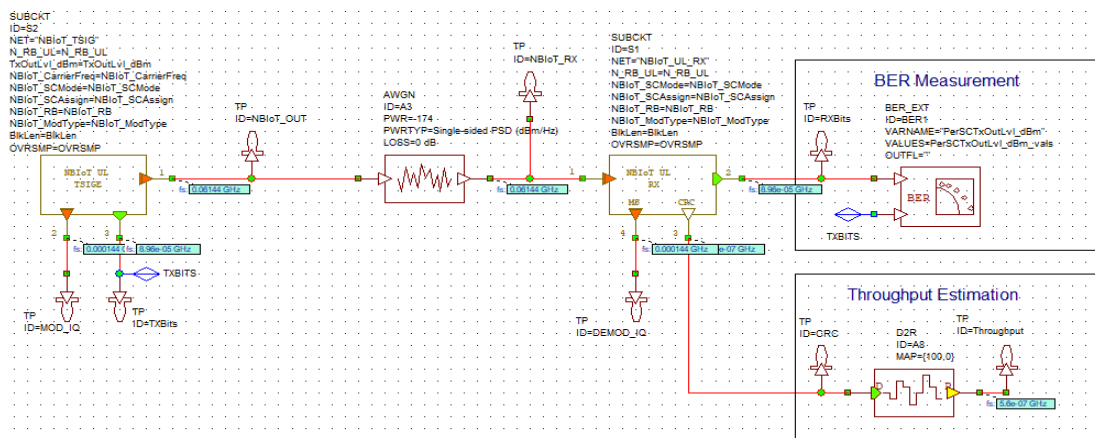
Kết quả mô phỏng thông lượng, BER



3. Mạch nguyên lý mô phỏng NB IOT ở chế độ độc lập

*Tham số đầu vào:

STT	N_RB_UL	50
1	NB IoT_CarrierFreq	3500
2	NB IoT_SCMode	8
3	NB IoT_SCAssign	0
4	NB IoT_RB	-2
5	OVR SMP	2
6	NB IoT_ModType	1
7	BlkLen	32
8	TxOutLvlStart_dBm	-125
9	TxOutLvlSpan_dBm	6
10	TxOutLvlStep_dBm	0.2



Kết quả mô phỏng thông lượng, BER

