

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG



VŨ HÀ KHOA

**NGHIÊN CỨU XUYÊN NHIỄU GIỮA CÁC LỖI
TRONG SỢI QUANG ĐA LỖI (MCF)**

CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG

MÃ SỐ: 8.52.02.08

TÓM TẮT LUẬN VĂN THẠC SĨ

HÀ NỘI - 2021

Luận văn được hoàn thành tại:

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

Người hướng dẫn khoa học: TS. Cao Hồng Sơn

Phản biện 1: PGS.TS. Lê Trung Thành

Phản biện 2: TS Hàn Huy Dũng

Luận văn sẽ được bảo vệ trước hội đồng chấm luận văn thạc sĩ tại Học viện Công nghệ
Bưu chính Viễn thông

Vào lúc: 10 giờ 45 ngày 02 Tháng 07 Năm 2022

Có thể tìm hiểu luận văn tại:

- thư viện của Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

I. LỜI MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Hiện nay, khả năng truyền dẫn của các hệ thống quang dựa trên ghép kênh phân chia theo thời gian (TDM) và ghép kênh phân chia theo bước sóng (WDM) sử dụng các sợi quang đơn mode (SMF) đạt đến giới hạn vài trăm Tbit/s trên mỗi sợi do các tính chất phi tuyến của sợi và băng thông khuếch đại quang. Nhằm đáp ứng nhu cầu tăng nhanh lưu lượng dữ liệu toàn cầu và khắc phục suy giảm dung lượng, ghép kênh phân chia theo không gian ra đời (SDM), một giải pháp giải quyết giới hạn dung lượng của các hệ thống truyền dẫn dựa trên sợi đơn mode. Mô hình SDM dựa trên sợi quang đa lõi (MCF) đạt hiệu quả trong việc gia tăng khả năng truyền dẫn trên mỗi sợi quang với độ phức tạp hệ thống ít nhất.

Vì vậy việc nghiên cứu về xuyên nhiễu giữa các lõi trong sợi MCF là hết sức cần thiết. Do vậy, tôi chọn đề tài *“Nghiên cứu xuyên nhiễu giữa các lõi trong sợi quang đa lõi (MCF)”* làm nội dung nghiên cứu cho luận văn này. Đây là một chủ đề cấp thiết cho việc truyền dữ liệu trong các hệ thống truyền thông quang ngày.

2. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Một số mô hình SDM được khảo sát dựa trên sợi vài mode (FMF), sợi đa mode (MMF), sợi đa lõi (MCF). Nếu dung lượng của mỗi kênh không gian giả định giống nhau, dung lượng tổng của hệ thống SDM tăng lên bằng số lượng của lõi trong MCF. Nếu công suất quang trên mỗi lõi MCF giống như trong SMF, mật độ phổ trong MCF có thể gấp bằng số lõi của sợi. Do đó, SDM là một phương pháp hiệu quả tăng dung lượng trên mỗi sợi. Áp dụng MCF/FMF thay cho các bó SMF dựa trên giả thiết là các hệ thống SDM trong tương lai có khả năng sử dụng các phần tử đa lõi/vài mode tiết kiệm năng lượng, cũng như siêu kênh SDM cho mạng SDM và giao diện tốc độ cao hơn, những tiềm năng đang được nghiên cứu chuyên sâu để giảm chi phí/bit, năng lượng/bit và không gian/bit.

Đối với mô hình SDM dựa trên FMF/MMF, việc tăng số lượng mode chắc chắn sẽ gây ra xuyên nhiễu giữa các mode do ghép cặp mode. Do đó, xử lý tín hiệu đa đầu vào đa đầu ra (MIMO) nói chung là cần thiết để khôi phục các tín hiệu ban đầu. So với MMF, SDM dựa trên MCF là một lựa chọn đơn giản và thiết thực vì không yêu cầu bất kỳ một xử lý tín hiệu MIMO nào ở phía máy thu. Để tăng dung lượng của hệ thống truyền dẫn quang sử dụng MCF, cần thiết phải tăng tổng số lõi trong MCF ở một tiết diện cố định, dẫn đến khoảng cách giữa

các lõi ngày càng nhỏ hơn. số lượng mode và lõi cao nhất tương ứng trong FMF/MMF và MCF được chế tạo là khoảng vài chục. Các kết quả nghiên cứu khác với FM-MCF lai cũng đã được công bố, với hơn một trăm kênh không gian. Tối đa hóa số lượng kênh trên mỗi sợi quang vẫn là chủ đề nóng và dung lượng tổng trên mỗi sợi phải lớn hơn ít nhất 100 lần so với dung lượng hiện tại.

Mục đích nghiên cứu của luận văn là nghiên cứu xuyên nhiễu giữa các lõi trong sợi quang đa lõi (MCF), từ đó đưa ra các cấu trúc sắp xếp tối ưu không gian các lõi bên trong một sợi quang đa lõi để tối đa hóa dung lượng của MCF bằng cách đặt càng nhiều lõi vào bên trong càng tốt. Quá trình nghiên cứu và phân tích quan điểm xuyên nhiễu với sự hỗ trợ của phần mềm MatLab.

3. Mục đích nghiên cứu

Mục đích nghiên cứu của luận văn là nghiên cứu xuyên nhiễu giữa các lõi trong sợi quang đa lõi (MCF), từ đó đưa ra các cấu trúc sắp xếp tối ưu không gian các lõi giống hệt nhau bên trong một sợi đa lõi (MCF) để tối đa hóa dung lượng của MCF bằng cách đặt càng nhiều lõi vào bên trong càng tốt. Quá trình nghiên cứu và phân tích trên quan điểm xuyên nhiễu với sự hỗ trợ của phần mềm MatLab.

4. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

4.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu chính của đề tài là sợi quang đa lõi (MCF) sử dụng cho các hệ thống truyền thông quang ghép kênh theo không gian.

4.2 Phạm vi nghiên cứu

Phạm vi nghiên cứu giới hạn với các sợi đa lõi (MCF) đơn mode cho hệ thống SDM

5. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với tính toán số với sự hỗ trợ của MatLab. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết dựa trên mô hình giải tích được sử dụng cho nghiên cứu về xuyên nhiễu giữa các lõi trong MCF, đánh giá ảnh hưởng của xuyên nhiễu giữa các lõi trong MCF.

Chương 1: Tổng quan về sợi đa lõi (MCF)

1.1 Giới thiệu chung

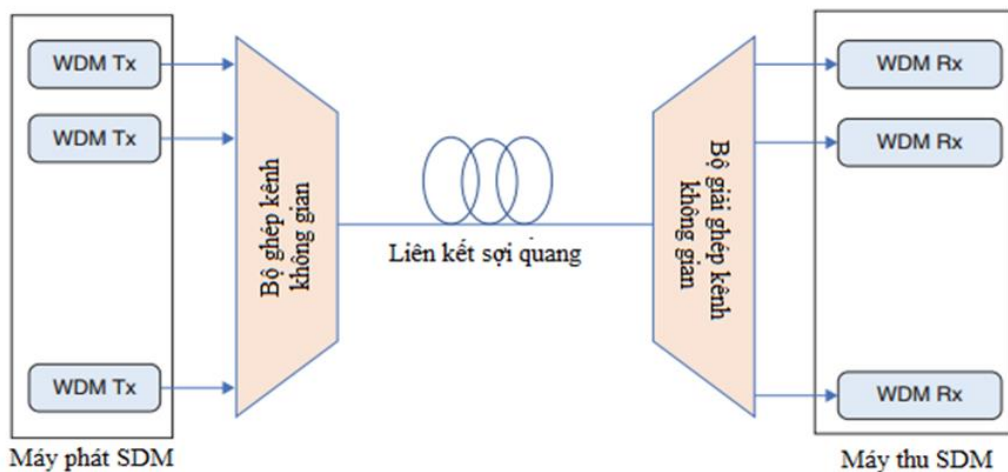
Các công nghệ như ghép kênh phân chia theo bước sóng (DWDM) và truyền dẫn tàng dung lượng lên nhiều lần trong các hệ thống quang, các kỹ sư luôn tìm cách đáp ứng nhu cầu truy cập ngày càng tăng theo cấp số nhân. Khắc phục giới hạn lưu lượng trong hạ tầng thông tin cáp quang hiện nay, việc tăng hiệu quả không gian trong tiết diện cáp quang là giải pháp hữu hiệu nhất. Sợi đa lõi (MCF), trong phạm vi ghép kênh phân chia không gian (SDM) là một giải pháp hứa hẹn cho vấn đề trên.

1.2. Sợi quang cho hệ thống SDM

1.2.1. Mô hình SDM

SDM sử dụng kích thước không gian để phân phối các luồng dữ liệu đồng thời bằng cách tạo các kênh không gian song song. Công nghệ này thường được sử dụng trong hệ thống đa đầu ra (MIMO) đa đầu vào, kết hợp ít nhất hai ăng ten ở phía máy phát và ít nhất hai ăng ten ở phía máy thu. Và xử lý tín hiệu MIMO đã được sử dụng rộng rãi trong các hệ thống truyền dẫn quang kết hợp hiện tại với ghép kênh phân chia phân cực (PDM) trên các sợi đơn mode tiêu chuẩn. Sử dụng sợi đa lõi và chế độ đa biến, có thể đạt được khoảng cách truyền đường dài và tốc độ dữ liệu tốc độ cao với SDM mật độ cao. Ghép kênh phân chia phân cực (PDM) tăng gấp đôi dung lượng truyền so với hệ thống phân cực đơn. Việc xây dựng các định dạng điều chế bốn chiều có thể được thiết kế để tối ưu hóa hiệu suất truyền dẫn quang phổ với chi phí thấp.

1.2.1.1. Mô hình hệ thống SDM



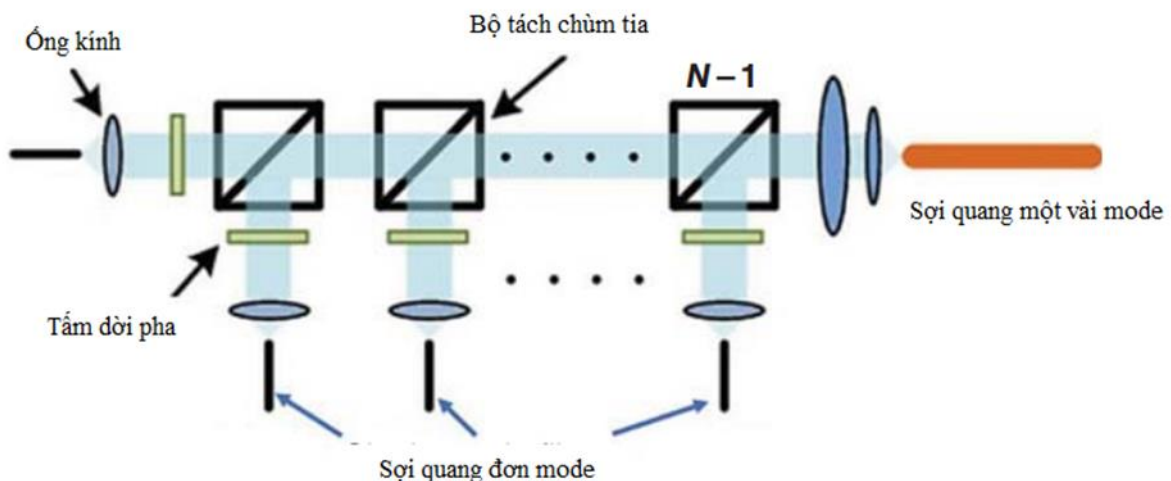
Hình 1.1: Sơ đồ hệ thống SDM

Từ hình 1.1 thấy tín hiệu WDM kết hợp lại với nhau bằng cách sử dụng bộ ghép kênh không gian, được truyền qua một liên kết sợi quang và phân tách bằng bộ giải ghép kênh không gian ở đầu thu. Liên kết sợi quang là một sợi quang cung cấp các đường truyền song song sử dụng sợi quang đa lõi (MCF) và sợi quang đa mode (MMF). Với MCF sẽ có nhiều lõi được đặt trong cùng một lớp bọc. Khi tất cả các lõi của MCF cách nhau đủ xa để các mode của chúng không chồng lên nhau, mỗi lõi cung cấp một đường dẫn khác nhau mà không có xuyên nhiễu giữa các lõi. Sợi quang đa mode (MMF) chỉ có một lõi kích thước lớn có khả năng hỗ trợ nhiều mode, tất cả đều có thể được sử dụng để truyền song song các tín hiệu WDM khác nhau. Hiện nay, chủ yếu tập trung nghiên cứu sợi MCF.

1.2.1.2 Các thành phần trong hệ thống SDM

a) Bộ ghép kênh không gian bó sợi:

Một bộ ghép kênh không gian cho MCF gồm có gương, lăng kính và thấu kính sử dụng để hướng các đầu vào từ SMF tới các lõi khác nhau của MCF. Nó thể hiện suy hao xen khoảng 0,6 dB với mức xuyên nhiễu dưới -50 dB. Với MMF vì tất cả các đầu vào phải được đưa vào lõi đơn của MMF để chúng kích thích các mode khác nhau của cùng một sợi quang. Hình 1.2 cho thấy thiết kế của một bộ ghép kênh quang số lượng lớn, có khả năng ghép N chùm đầu vào đến từ các SMF thành một sợi N-mode. Thiết kế này có suy hao xen lớn vì sử dụng bộ chia.



Hình 1.2: Bộ ghép kênh không gian bó sợi chung ghép N điểm đầu vào từ SMF thành một sợi quang một vài mode sau khi đưa vào các tấm dịch pha phù hợp

Vì cổng đầu vào và cổng đầu ra của bộ ghép kênh không gian đều kết nối với sợi quang,

nên cần sử dụng một thiết bị với suy hao xen thấp nếu bộ ghép kênh được chế tạo chỉ sử dụng sợi, các thiết bị như vậy đã được phát triển rộng rãi và được gọi là đèn quang tử. Được bao bọc bên trong ống dẫn thủy tinh có chiết suất thấp hơn so với lớp bọc của SMF, giảm dần cho đến khi tất cả các lõi **sát gần** nhau **giống như** MCF và sau đó hợp nhất để tạo thành một khối lớn duy nhất. Đường kính lớp bọc của mỗi SMF được cố định ở $125\ \mu\text{m}$, đường kính ban đầu khoảng 1mm và việc thu nhỏ lại làm giảm khoảng một hệ số 10.

Nhiều SMF được đưa vào các lỗ gần tâm, trước làm nóng và kéo thành sợi. Tất cả các SMF hợp nhất với nhau để tạo thành lõi rộng của MMF được bao quanh bởi một lớp vỏ hình lõi không khí. Việc hợp nhất các lõi được thực hiện trên một đoạn mà không làm giảm nhiều **PCF**. Các dịch chuyển pha khác nhau được thực hiện bởi các mode khác nhau trong vùng giảm dần do các hằng số truyền của chúng quy định. Các mô phỏng số cho thấy rằng suy hao **xen** trung bình có thể được giữ dưới 0,5 dB với thiết kế thích hợp của đèn quang tử.

b) Bộ ghép kênh tích hợp

Các mạch tích hợp quang tử dựa trên chip silic trên bộ cách ly (SOI) đã tiến bộ đáng kể trong những năm gần đây. Sử dụng công nghệ SOI để thiết kế bộ ghép kênh không gian và chip SOI tạo ra một bộ ghép kênh nhỏ gọn có khả năng gửi đầu vào từ một số SMF vào MCF hoặc MMF. Nhiều đầu vào đến từ các SMF được ghép nối với chip bằng cách sử dụng bộ ghép cách tử và hướng về đầu ra thông qua ống dẫn sóng đơn mode và các thành phần tích hợp khác như bộ ghép định hướng và bộ chuyển pha. Ở đầu ra, một hoặc nhiều bộ ghép cách tử được sử dụng để ghép ánh sáng vào các lõi khác nhau của MCF hoặc các mode khác nhau của MMF

c) Bộ khuếch đại sợi quang đa lõi và sợi quang đa mode

Các hệ thống WDM đường dài sử dụng bộ khuếch đại quang dọc theo liên kết sợi quang theo kiểu tuần hoàn để bù lại suy hao. Trong trường hợp của SMF, bộ khuếch đại sợi pha tạp erbium (EDFA) thường được sử dụng, khuếch đại Raman phân tán cung cấp một giải pháp thay thế trong một số trường hợp. Một EDFA đa lõi được phát triển vào năm 2011 có khả năng khuếch đại tín hiệu 1550 nm bên trong bảy lõi của nó lên tới 30 dB, sử dụng MCF, có bảy lõi được pha tạp chất erbium và bơm bằng tia laser 980 nm. Một sơ đồ như vậy phân kênh của tất cả các kênh không gian, thêm công suất, rồi ghép kênh lại trước khi truyền vào EDFA đa lõi.

1.2.2. *Khái quát sợi quang:*

Sợi quang đơn lõi là phương tiện truyền dẫn được sử dụng rộng rãi, ánh sáng được truyền dọc theo sợi quang bằng cách lặp lại tổng số phản xạ bên trong tại ranh giới lớp bọc lõi. Chiết suất bậc được sử dụng trong các sợi đơn mode và một số sợi đa mode, trong đó chỉ số khúc xạ được phân bố đồng đều khắp lõi. Điện trường rò rỉ và truyền qua lớp bọc các sợi, dẫn đến các chế độ sợi được dẫn hướng yếu có thể được đơn giản hóa bằng cách sử dụng các chế độ phân cực tuyến tính (LP).

MCF bao gồm một cấu trúc bao gồm nhiều lõi trong một lớp bọc duy nhất, phân loại thành loại sợi ghép cặp và loại không ghép cặp. Loại đầu tiên sử dụng một số lõi được đặt theo cách cho phép các lõi ghép cặp với nhau. Giống như trong MMF, MCF loại ghép cặp tận dụng chế độ truyền để thực hiện ghép kênh không gian mà không yêu cầu cấu hình phức tạp của các sợi quang đa mode (MMF) nâng cao. Loại không ghép cặp, mỗi lõi phải được bố trí hợp lý để giữ cho xuyên nhiễu giữa các lõi đủ thấp để đáp ứng các ứng dụng truyền dẫn đường dài. Ngoài ra, cấu trúc được hỗ trợ bởi rãnh, khả năng hạn chế ánh sáng, giúp giảm xuyên nhiễu giữa các lõi thấp hơn so với MCF có chiết suất bậc nhờ sự tồn tại của lớp rãnh chỉ số thấp có thể giảm sự chồng chéo của trường điện từ giữa các lõi lân cận. Số lượng lõi được đặt bên trong một sợi quang phụ thuộc vào các tham số: vật liệu bên ngoài, độ dày lớp vỏ, đường kính của lớp bọc, khoảng cách giữa các lõi.

Độ dày của lớp vỏ (OCT) không nhỏ hơn $30\mu m$ nhằm giảm sự suy hao xuyên nhiễu. Chiều dài sợi quang (L) là khoảng cách giữa hai đầu của sợi quang. Các lõi đồng nhất được đặt bên trong sợi quang, tất cả đều có cùng kích thước và chỉ số khúc xạ, sẽ được bao bọc bởi một rãnh hạn chế ánh sáng vào bên trong lõi. Khoảng cách phân tách giữa hai lõi, cao độ lõi (Λ) là yếu tố quan trọng trong việc cân bằng giá trị các giá trị xuyên nhiễu bên trong sợi quang.

1.3. Xuyên nhiễu trong MCF

1.3.1 Ước tính xuyên nhiễu

Sự nhiễu loạn của đường truyền gây ra bởi điện trường hoặc từ trường của một tín hiệu **thông tin** khác được gọi là xuyên nhiễu. $P'(Z)$ là công suất ở đầu ra của lõi tham chiếu và $P(Z)$ là công suất ở đầu ra của lõi gây nhiễu

$$XT(Z) = 10 \times \log_{10} [dB] \quad (1.1)$$

Áp dụng định luật công suất ghép cặp (CPT), xuyên nhiễu giữa hai lõi trong sợi quang có chiều dài L :

$$XT = \tanh(\bar{h}_{mn}L) \quad (1.2)$$

1.3.2 Hạn chế xuyên nhiễu

Nhằm tăng lưu lượng truyền dẫn, tìm kiếm các hiệu suất phổ lớn hơn bằng các sơ đồ điều chế biên độ cầu vuông góc (QAM) mức cao hơn. Những điều chế này, cùng với **tỷ số tín hiệu nhiễu quang** (OSNR) tối thiểu mà chúng gây ra, đặt ra một số hạn chế đối với giá trị xuyên nhiễu tối đa cho phép bên trong mỗi lõi của sợi quang đa lõi.

Chương 2: Các mô hình phân tích cho MCF

SDM dựa trên MCF là một lựa chọn đơn giản và thiết thực. Để tăng dung lượng của hệ thống truyền dẫn, phải tăng tổng số lõi trong MCF, dẫn đến khoảng cách giữa các lõi ngày càng nhỏ hơn. Xuyên nhiễu (XT) giữa các lõi tính bằng dB của MCF tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa các lõi và XT phải nhỏ hơn mức qui định vì XT cao dẫn đến độ thiệt thòi OSNR nghiêm trọng trong các hệ thống truyền dẫn quang sử dụng các định dạng điều chế tiên tiến. Do đó, các phương pháp giảm XT phải được áp dụng để tăng số lượng lõi trong MCF. Trong chương 2 nghiên cứu các cách sắp xếp các lõi khác nhau.

2.1 Mô hình sắp xếp các lõi một vòng

2.1.1 Mô hình một vòng

Sử dụng các sắp xếp một vòng, các lõi được đặt cách đều nhau trên một vòng tròn. Bán kính của vòng tròn ngoài (r_1). Khoảng cách giữa chúng đảm bảo khoảng cách giữa các lõi quy định bởi các thông số sợi. Sau đó, nhiều lõi hơn được thêm vào sợi, với khoảng cách bằng nhau giữa mỗi lõi cho đến khi các sợi khiến không thể thêm bất kỳ lõi nào nữa. Tính xuyên nhiễu sẽ tính đến hai lõi bên cạnh nó:

$$XT_{core} = 2 \times XT(\Lambda_l) \quad (2.1)$$

2.1.2 Mô hình một vòng và lõi trung tâm

Giống mô hình một vòng và thêm một lõi ở giữa phía trong. Một lõi được đặt ở giữa sợi, sau đó từng lõi một vào vòng ngoài và luôn duy trì khoảng cách bằng nhau giữa các lõi cho đến khi các giới hạn về không gian. Từ

$$XT = \frac{2k'_{mn}{}^2 R_b L}{\beta \Lambda} \quad (2.2)$$

Tính xuyên nhiễu lõi trung tâm các lõi vòng ngoài và lõi trung tâm

2.2 Mô hình sắp xếp các lõi đa vòng

2.2.1 Mô hình hai vòng giống nhau

Mô hình hai vòng, các lõi nằm trong hai vòng tròn với hai bán kính khác nhau. Bán kính vòng ngoài lớn hơn bán kính vòng trong, khi hai vòng có cùng số lõi, khoảng cách giữa các lõi bên trong sẽ nhỏ hơn khoảng cách giữa các lõi bên ngoài.

Từ phương trình $XT = \frac{2k'_{mn}{}^2 R_b}{\beta \Lambda} L$ tính giá trị xuyên nhiễu các lõi bên ngoài và bên trong bằng cách xét hai lõi gần nhất.

2.2.2 Mô hình hai vòng và lõi trung tâm

Mô hình phân bố số lượng các lõi thành hai vòng giống nhau, với một lõi ở trung tâm. Bán kính vòng trong phụ thuộc vào số lượng lõi, khoảng cách từ lõi bên trong đến lõi trung tâm bằng khoảng cách lõi bên trong đến lõi bên ngoài gần nhất. Ban đầu, bảy lõi được đặt vào, ba lõi trong mỗi vòng, cộng với một lõi bổ sung ở trung tâm cho đến khi đạt giới hạn không gian của sợi.

Từ phương trình $XT = \frac{2k'_{mn}{}^2 R_b}{\beta \Lambda} L$ tính được giá trị xuyên nhiễu các lõi bằng cách xét đến hai lõi kế bên, lõi ngoài gần nhất và lõi trung tâm.

2.2.3 Mô hình hai vòng khác nhau

Số lượng lõi hai vòng khác nhau, trong đó vòng trong có số lõi bằng một nửa so với vòng ngoài. Cách bố trí hai vòng này để cân bằng đồng đều hơn khoảng cách giữa các lõi lân cận trong cả hai vòng. Để giảm thiểu nhiễu của lõi bên trong, phải đảm bảo rằng lõi bên trong được đặt cách đều với lõi gần nhất và lõi bên ngoài với nó. Ban đầu, sáu lõi ở bên ngoài và ba lõi ở vòng trong, tiếp ba lõi một lần cho đến khi giới hạn không gian của sợi.

Từ $XT = \frac{2k'_{mn}{}^2 R_b}{\beta \Lambda} L$ tính giá trị xuyên nhiễu các lõi bằng cách xét các lõi lân cận xung quanh nó.

2.2.4 Mô hình hai vòng khác nhau với lõi trung tâm

Hai vòng với lõi trung tâm sắp xếp các lõi thành hai vòng cộng với một lõi ở trung tâm, trong đó vòng trong bằng một nửa số lõi vòng ngoài. Bán kính vòng trong luôn lớn hơn một nửa bán kính vòng ngoài, giúp cân bằng tốt hơn các giá trị xuyên nhiễu. Ban đầu bảy lõi được đặt vào trong, một ở trung tâm, bốn ở vòng ngoài và hai ở vòng trong, Sau đó, ba lõi một lần, cho đến khi giới hạn không gian không thể thêm nữa.

Từ $XT = \frac{2k'_{mn}{}^2 R_b}{\beta \Lambda} L$ tính giá trị xuyên nhiễu các lõi bằng cách xét đến các lõi lân cận xung quanh nó.

2.2.5 Mô hình ba vòng khác nhau

Số lượng lõi trung tâm bằng một phần ba vòng ngoài và hai phần ba vòng giữa. Vòng ngoài, với bán kính lớn nhất, bán kính vòng giữa và vòng trong sẽ phụ thuộc vào số lượng lõi. Điều quan trọng là khoảng cách giữa lõi ngoài và lõi giữa gần nhất của nó sẽ phụ thuộc vào lõi bên ngoài được chọn. Thuật toán này tạo ra kết quả xuyên nhiễu tốt hơn khi so sánh với một cấu trúc tương tự trong đó các vòng cách đều nhau.

$$\text{Từ } XT = \frac{2k'_{mn}{}^2 R_b}{\beta \Lambda} L \text{ tính giá trị xuyên nhiễu các lõi vòng trong, vòng giữa và vòng}$$

ngoài bằng cách xét đến các lõi lân cận và các lõi vòng gần nhất.

2.2.6 Mô hình ba vòng khác nhau và lõi trung tâm

Mô hình sắp xếp thành ba vòng và một lõi trung tâm, trong đó vòng trong và vòng giữa lần lượt có một phần ba và hai phần ba số lõi của vòng ngoài, đảm bảo khoảng cách trong bằng hoặc nhỏ hơn khoảng cách giữa lõi giữa và lõi ngoài. Thuật toán này tạo ra kết quả xuyên nhiễu tốt hơn khi so sánh với cấu trúc tương tự trong đó các vòng cách đều nhau.

$$\text{Từ } XT = \frac{2k'_{mn}{}^2 R_b}{\beta \Lambda} L \text{ tính giá trị xuyên nhiễu các lõi vòng trong, lõi vòng giữa, lõi}$$

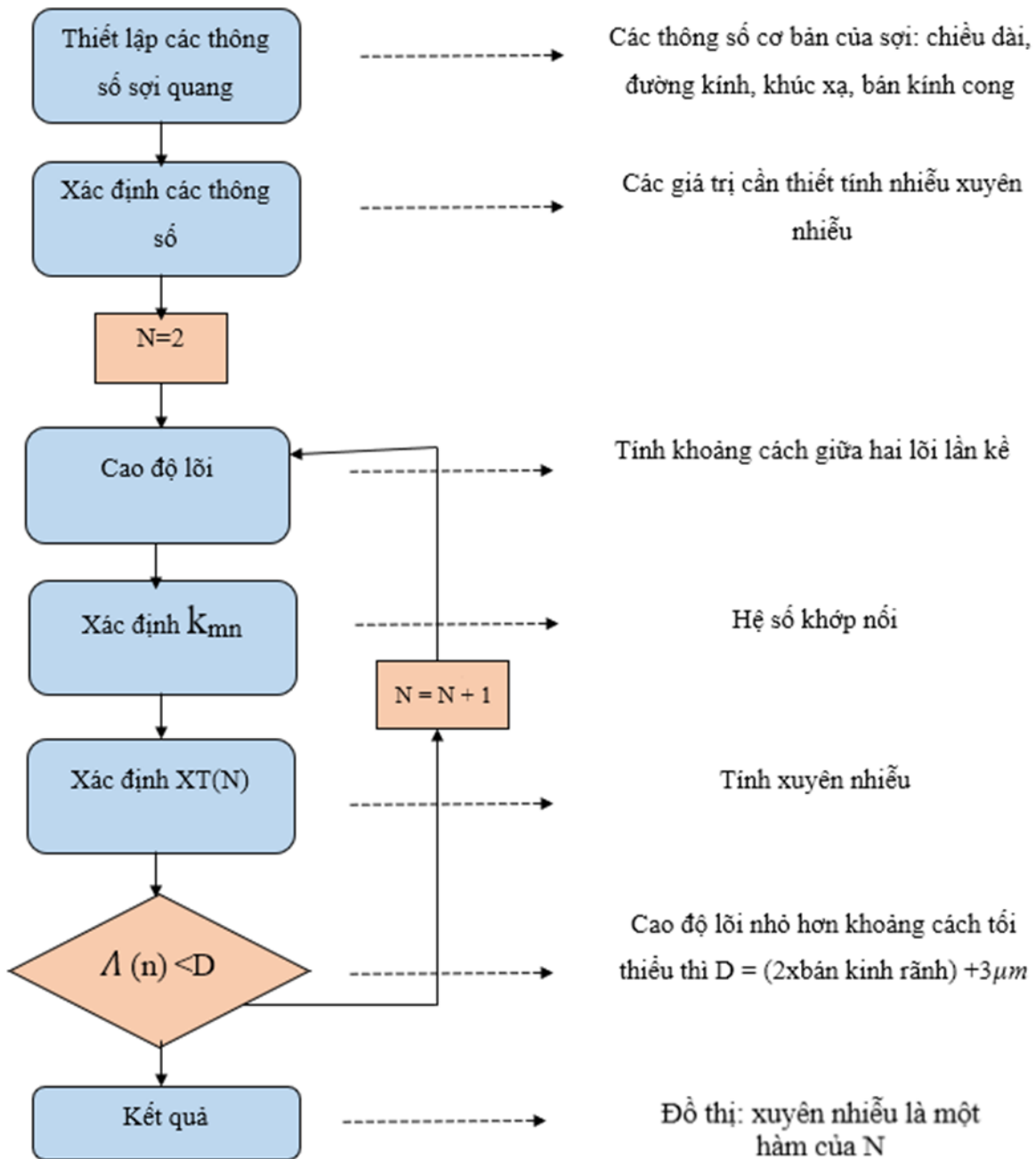
vòng ngoài bằng cách xét các lõi lân cận.

2.2.7 Mô hình lục giác

Mô hình sắp xếp thành hình lục giác, các lõi khác nhau trong một vòng có thể có khoảng cách đến tâm khác nhau, cần đảm bảo khoảng cách giữa các vòng, giữa hai lõi lân cận bất kỳ là không đổi. Các lõi được thêm chỉ khi các giới hạn không gian của sợi cho phép, vì một số lõi trong cùng một vòng có thể khác nhau về khoảng cách đến lõi trung tâm. Nên bất cứ khi nào các lõi được thêm vào sợi quang, chúng đều có cùng bán kính; nghĩa là các vòng được xây dựng trong một, hai, ba và đôi khi nhiều pha hơn. Để tính giá trị xuyên nhiễu nhân giá trị giữa hai lõi bất kỳ với số lõi lân cận của nó.

Chương 3: Khảo sát và đánh giá xuyên nhiễu giữa các lõi MCF

3.1. Lược đồ đánh giá xuyên nhiễu



Hình 3.1: Sơ đồ khối lược đồ đánh giá xuyên nhiễu

Đánh giá xuyên nhiễu giữa các lõi MCF sử dụng ngôn ngữ lập trình MatLab thông qua các kết quả tính toán số, với mỗi mô hình được đề xuất. Hình 3.1 mô tả việc sử dụng thuật toán cho mô hình sắp xếp một vòng.

3.2. Mô tả bài toán

Hệ thống truyền dẫn cáp quang đơn mode phát triển mạnh mẽ, nhanh chóng đạt đến giới

hạn truyền dẫn, khoảng 100Tb/s trên mỗi sợi, sử dụng nhiều kỹ thuật ghép kênh. Để khắc phục tình trạng suy giảm công suất xảy ra, kết hợp ghép kênh phân chia không gian với sử dụng sợi quang đa lõi, như một giải pháp tối ưu để khắc phục những giới hạn dung lượng. Phù hợp với các thông số sợi quang, một số cách sắp xếp được nghiên cứu và kết quả xuyên nhiễu tính toán bằng MatLab: đường kính lớp bọc 260 μm , 300 μm và 125 μm .

3.3 Các kết quả tính toán số và phân tích đánh giá xuyên nhiễu

Cung cấp một giải pháp tối ưu cho vấn đề phân bố lõi trong MCF là một nhiệm vụ khó thực hiện. Ba trường hợp khác nhau sẽ được nghiên cứu dưới đây, mỗi trường hợp có một sợi quang với thông số được xác định rõ ràng với thông số đường kính lớp bọc 260 μm , 300 μm , 150 μm . Các bố cục được đề xuất sau đó sẽ được sử dụng để phân phối không gian các lõi trong sợi quang và so sánh giữa các kết quả của mỗi trường hợp.

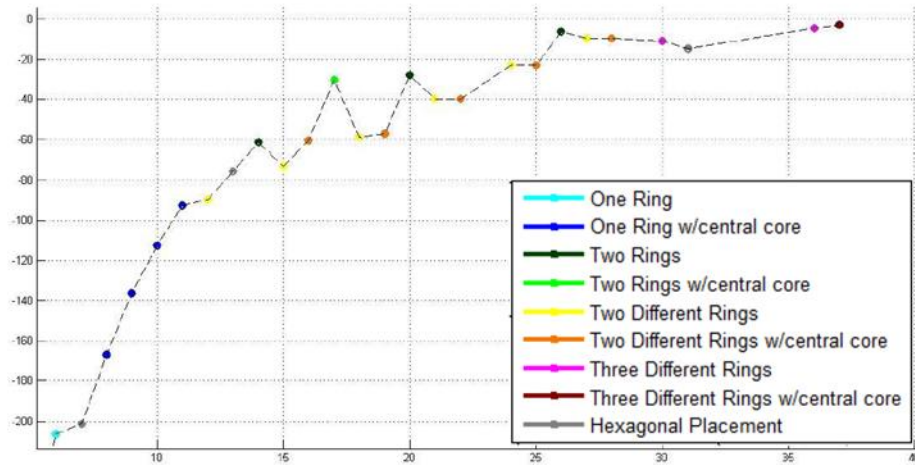
3.3.1 $CD = 300 \mu\text{m}$

Sử dụng sợi có đường kính bọc lớn cho phép đặt nhiều lõi hơn bên trong sợi. Biết được dung sai xuyên nhiễu cho từng trường hợp và kết quả xuyên nhiễu tốt nhất thu được cho sợi quang có đường kính 300 μm .

Đối với cấp quang sử dụng QPSK giá trị xuyên nhiễu tối đa -20 dB, mô hình ba vòng khác nhau và lõi trung tâm là cách sắp xếp mang lại kết quả tốt nhất, có thể lắp được 37 lõi trong sợi quang mà không vượt ngưỡng giới hạn. Cách sắp xếp này vượt trội hơn mô hình mô hình lục giác khi lắp nhiều lõi hơn trong sợi quang, Đối với trường hợp 256-QAM, giới hạn -40 dB cho xuyên nhiễu tối đa, mô hình hai vòng và lõi trung tâm là mô hình phù hợp. Bố cục này cân bằng hoàn hảo xuyên nhiễu trong cả hai vòng trong khi lõi trung tâm nhỏ hơn. Các lõi trong cả hai vòng sẽ có -47 dB nhiễu xuyên âm, lõi trung tâm sẽ chỉ có -84,5 dB.

3.3.2 $CD = 260 \mu\text{m}$

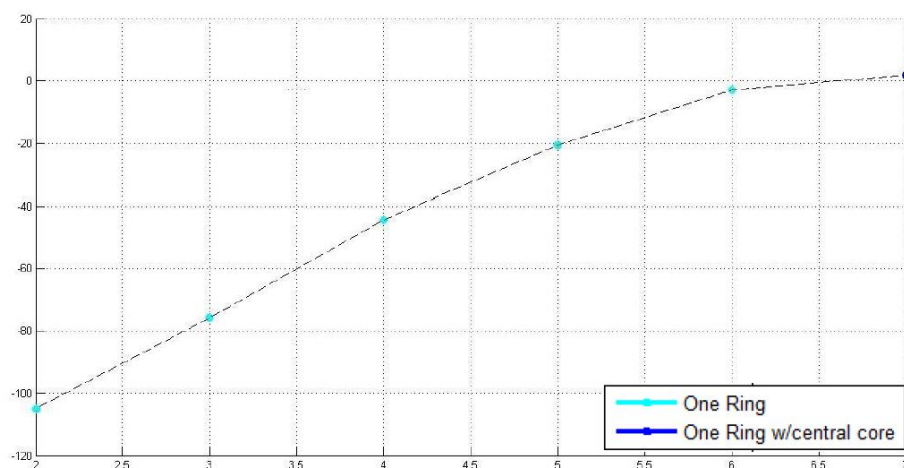
Xác định mô hình phù hợp nhất với số lõi nhất định, phân tích lần lượt các mô hình đã giới thiệu trong luận văn, mỗi mô hình có đồ thị và giá trị xuyên nhiễu khác nhau. Cuối cùng thu được đồ thị tổng hợp kết quả cho tất cả các mô hình được đề xuất



Hình 3.2: Xuyên nhiễu so với số lượng lõi - $CD = 260 \mu m$

Các dấu chấm thể hiện kết quả xuyên nhiễu tốt nhất thu được đối với một số lõi nhất định. Màu của chúng xác định loại mô hình được sử dụng để đạt được giá trị xuyên nhiễu này. Điều quan trọng là những giá trị này đại diện cho sự xuyên nhiễu của những lõi hoạt động kém hơn trong mỗi mô hình hay giá trị cao nhất của nhiễu trong mô hình. Sau khi chọn mô hình phù hợp cho mỗi tình huống rút ra mô hình tối ưu nhất để giảm thiểu xuyên nhiễu. Nhưng việc đặt số lõi chính xác với các thông số đã đề cập trên một sợi có đường kính $260 \mu m$ tạo ra các giá trị nhiễu cao hơn những giá trị được cho là có thể sử dụng được. Vì lý do đó, các mô hình mới phải được thử nghiệm để đảm bảo tuân thủ các giá trị xuyên nhiễu khác nhau.

3.3.3 $CD = 125 \mu m$



Mô hình một vòng và mô hình một vòng và lõi trung tâm được áp dụng, kết quả xuyên nhiễu của chúng có thể được biểu diễn trong hình 3.3 cùng với đường đứt nét theo hướng tăng dần của chúng. Đối với sợi quang sử dụng QPSK có giới hạn -20 dB , mô hình một vòng nên

được sử dụng 5 lõi, mỗi lõi có xuyên nhiễu khoảng $-20,5 \text{ dB}$. Đối với sợi quang sử dụng 256-QAM với giới hạn -40 dB , Một vòng cũng là bố cục phù hợp vì với bốn lõi, xuyên nhiễu sẽ là $-44,5 \text{ dB}$ trong mỗi lõi. Cả hai cấu trúc này, một cho mô hình sử dụng QPSK (*hình 3.21*) và một cho mô hình sử dụng QAM-256 (*hình 3.20*):

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết quả đạt được

Luận văn trình bày tổng quan về sợi đa lõi (MCF) sử dụng cho ghép kênh theo không gian (SDM) và ảnh hưởng xuyên nhiễu giữa các lõi trong MCF. Bên cạnh đó luận văn đã đề cập đến phương pháp tối đa hóa dung lượng truyền dẫn, mô tả cách sắp xếp không gian tốt nhất các lõi bên trong ba sợi khác nhau ($Cd = 125, 260, 300 \mu m$). Một thuật toán ước tính xuyên nhiễu đã được nghiên cứu và chín mô hình được đề xuất để thực hiện việc sắp xếp không gian này của các lõi được phân tích từ góc độ xuyên nhiễu. Từ phân tích này, các bố trí tốt nhất để đặt số lõi nhất định nào trong sợi quang đã được xác định.

So sánh với các cách phân bố lõi như đã trình bày ở trên, cách sắp xếp hình lục giác trong luận văn này là hợp lý về mặt chức năng do kết quả của nó phù hợp với các giải pháp tiên tiến.

2. Hướng phát triển

Phát triển một thuật toán ước lượng xuyên nhiễu cho các bộ ghép kênh không gian, sử dụng các bố cục cũng như phương pháp lựa chọn được trình bày trong luận án này, có thể giảm thiểu xuyên nhiễu trong các thiết bị này.