

NGUYỄN VĂN DỰ - NGUYỄN ĐĂNG BÌNH

QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM TRONG KỸ THUẬT



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

NGUYỄN VĂN DŨY, NGUYỄN ĐĂNG BÌNH

QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM TRONG KỸ THUẬT



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT
HÀ NỘI - 2011

Lời nói đầu

Hầu hết các nghiên cứu trong kỹ thuật đều gắn với thực nghiệm. Nghiên cứu thực nghiệm trong kỹ thuật có mục đích xác định các quan hệ giữa các thông số đầu vào với một hay nhiều giá trị đầu ra của đối tượng. Hiểu rõ quan hệ này có thể giúp cải thiện hay tối ưu hóa đối tượng nghiên cứu.

Nghiên cứu thực nghiệm cần được thực hiện theo kế hoạch. Lý thuyết về xây dựng kế hoạch thí nghiệm còn được gọi là "Quy hoạch thực nghiệm" hay "Thiết kế thí nghiệm" (Design Of Experiments – DOE). DOE giúp nhà nghiên cứu có thể thực thi ít thí nghiệm nhất nhưng lại thu được nhiều thông tin hữu ích nhất về đối tượng được nghiên cứu.

Thực tế giảng dạy và hướng dẫn nghiên cứu cho thấy, nhiều nhà nghiên cứu kỹ thuật thường rất mất thời gian và công sức cho việc tìm hiểu và tính toán theo các công thức xác suất thống kê phức tạp của lý thuyết quy hoạch thực nghiệm. Tiến trình nghiên cứu thực nghiệm nếu được mô tả từng bước sẽ giúp nhà nghiên cứu tập trung sức lực của mình cho vấn đề chính hơn. Sự trợ giúp đắc lực và hữu hiệu của máy tính trong việc xử lý số liệu thí nghiệm cũng cần được quan tâm. Tài liệu này được viết theo xu hướng ứng dụng, cụ thể hóa các lý thuyết về quy hoạch thực nghiệm và xử lý số liệu thí nghiệm với sự trợ giúp của máy tính vào các bài toán kỹ thuật. Sách được dùng làm giáo trình giảng dạy sau đại học, các khóa đào tạo chuyên đề về nghiên cứu thực nghiệm trong lĩnh vực kỹ thuật. Bạn đọc ở các trình độ khác, các lĩnh vực khác cũng có thể tham khảo kỹ thuật thiết kế thí nghiệm trong tài liệu này.

Tài liệu bao gồm 6 chương với các nội dung chính sau đây:

- ✓ Các khái niệm và nguyên tắc cơ bản của nghiên cứu thực nghiệm và lập kế hoạch thí nghiệm. Giới thiệu về tiến trình thiết kế, thu thập dữ

liệu và xử lý số liệu thực nghiệm; lập kế hoạch và phân tích số liệu thí nghiệm bằng máy vi tính.

- ✓ Các kiến thức căn bản về lý thuyết thống kê được sử dụng trong xử lý số liệu thí nghiệm. Nhiều ví dụ cụ thể được giới thiệu và phân tích nhằm giúp người đọc không chuyên về toán có thể hiểu và liên hệ được với vấn đề nghiên cứu của mình.
- ✓ Các kỹ thuật phân tích số liệu thí nghiệm nhằm so sánh hai quá trình, chất lượng hai nhóm đối tượng trong kỹ thuật. Cách xác định số lượng mẫu thí nghiệm cần thiết cũng được phân tích và minh họa bằng ví dụ cụ thể.
- ✓ Cơ sở lý thuyết và cách thức xây dựng kế hoạch thí nghiệm hai mức cho các bài toán kỹ thuật. Ứng dụng máy tính để xây dựng các kế hoạch thí nghiệm hai mức.
- ✓ Cách xây dựng kế hoạch và phân tích số liệu cho thí nghiệm sơ bộ nhằm sàng lọc ra các yếu tố quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến thông số đầu ra của đối tượng nghiên cứu. Xác định các ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố thí nghiệm. Cách thức xác định số lượng thí nghiệm cần thiết. Kỹ thuật phân tích hồi quy và phương sai.
- ✓ Tiến trình nghiên cứu thực nghiệm tối ưu hóa. Từng bước của quá trình tìm vùng cực trị, xác định điểm cực trị cũng như hai dạng bài toán tối ưu cơ bản là đơn mục tiêu và đa mục tiêu được giới thiệu và phân tích chi tiết. Các giai đoạn phân tích, đánh giá được minh họa qua các ví dụ xuyên suốt nhằm giúp người đọc hiểu và áp dụng cho nghiên cứu của mình một cách dễ dàng.

Lần xuất bản đầu tiên chắc còn nhiều thiếu sót. Rất mong bạn đọc đóng góp ý kiến để hoàn thiện hơn.

Các tác giả

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. GIỚI THIỆU	9
1.1. Nghiên cứu thực nghiệm	9
1.2. Khái niệm thiết kế thí nghiệm	12
1.3. Ba nguyên tắc thiết kế thí nghiệm	16
1.4. Các loại thí nghiệm	18
1.5. Các dạng thiết kế thí nghiệm	19
1.5.1. Thí nghiệm một yếu tố	19
1.5.2. Thí nghiệm đa yếu tố	20
1.5.3. Thí nghiệm Taguchi	21
1.5.4. Thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu	21
1.6. Tiến trình nghiên cứu thực nghiệm	22
1.6.1. Phát biểu vấn đề	22
1.6.2. Xác định các yếu tố thí nghiệm	22
1.6.3. Lựa chọn hàm mục tiêu	23
1.6.4. Thiết kế thí nghiệm	23
1.6.5. Tiến hành thí nghiệm	24
1.6.6. Phân tích kết quả	24
1.6.7. Kết luận	24
1.7. Thiết kế và xử lý số liệu thí nghiệm bằng máy tính	25
1.8. Kết luận chương	26
CHƯƠNG 2. THỐNG KÊ CƠ BẢN	28
2.1. Dữ liệu thực nghiệm	29
2.1.1. Tập toàn bộ và tập mẫu	29
2.1.2. Vị trí tập dữ liệu (Location)	29
2.1.3. Mức độ biến động (Variation)	30
2.1.4. Hình dạng phân phối dữ liệu (Shape)	32
2.2. Phân phối Gauss	35
2.2.1. Giới thiệu	35
2.2.1. Tính xác suất bằng tay	38
2.2.2. Tính xác suất trên máy tính	40
2.3. Kiểm định giả thuyết thống kê	42
2.3.1. Khái niệm	42
2.3.2. Giá trị giới hạn	44
2.3.3. Giả thuyết một phía và hai phía	46
2.3.4. Mức ý nghĩa α và giá trị p	47
2.4. Suy diễn thống kê từ một tập mẫu	48
2.4.1. Suy diễn giá trị trung bình khi biết phương sai	48
2.4.2. Suy diễn giá trị trung bình khi chưa biết phương sai	52
2.4.3. Suy diễn phương sai của tập toàn bộ	58
2.5. Hồi quy bậc nhất	62
2.5.1. Xác định hệ số hồi quy	63
2.5.2. Đánh giá sai số hồi quy	66

2.5.3. Hồi quy bằng máy tính	68
2.5.4. Ví dụ ứng dụng	72
2.6. Chuyển đổi dữ liệu về dạng phân phối chuẩn	73
2.6.1. Kiểm tra dạng phân bố của dữ liệu	73
2.6.2. Chuyển đổi Box-Cox	76
2.6.3. Chuyển đổi Johnson	78
2.7. Kết luận chương	79
CHƯƠNG 3. THỰC NGHIỆM SO SÁNH	81
3.1. Giới thiệu	81
3.2. So sánh trung bình	81
3.2.1. Hai tập toàn bộ có cùng độ lệch chuẩn	83
3.2.2. Hai tập toàn bộ khác độ lệch chuẩn	83
3.2.3. Hai tập có dữ liệu phân bố theo cặp	84
3.2.4. Cách thực hiện so sánh	85
3.2.5. Ví dụ minh họa	86
3.3. So sánh lượng biến động	94
3.3.1. Phân phối F	95
3.3.2. Cách thức kiểm định giả thuyết	96
3.3.3. Ví dụ minh họa	97
3.4. Xác định số lượng mẫu thực nghiệm	100
3.4.1. Tính số lượng mẫu bằng tay	100
3.4.2. Tính số lượng mẫu bằng máy tính	103
3.5. Kết luận chương	108
CHƯƠNG 4. KẾ HOẠCH THỰC NGHIỆM 2 MỨC	109
4.1. Giới thiệu	109
4.2. Thí nghiệm đầy đủ 2^k	109
4.2.1. Thí nghiệm 2^2	109
4.2.2. Thí nghiệm 2^3	113
4.2.2. Bổ sung điểm thí nghiệm trung tâm	118
4.2.3. Thiết kế thí nghiệm 2^k	119
4.3. Thí nghiệm riêng phần 2^{k-p}	122
4.3.1. Thí nghiệm riêng phần 2^{3-1}	122
4.3.2. Độ phân giải và các dạng thí nghiệm riêng phần 2^{k-p}	123
4.3.2. Kế hoạch thí nghiệm P-B	126
4.4. Xây dựng kế hoạch hai mức bằng máy tính	128
4.5. Xác định số lượng thí nghiệm tối thiểu	131
4.6. Kết luận chương	136
CHƯƠNG 5. THỰC NGHIỆM SÀNG LỌC	138
5.1. Giới thiệu	138
5.2. Thiết kế thí nghiệm sàng lọc	138
5.3. Phân tích kết quả thí nghiệm	139
5.3.1. Xử lý số liệu	139
5.3.2. Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng chính	143

5.3.3. Đánh giá tương tác giữa các biến thí nghiệm	143
5.3.4. Mô hình hồi quy thực nghiệm	146
5.4. Các ví dụ minh họa	146
5.4.1. Thí nghiệm dạng đầy đủ	147
5.4.2. Thí nghiệm dạng riêng phần	158
5.5. Kết luận chương	164
CHƯƠNG 6. THỰC NGHIỆM TỐI ƯU HÓA	165
6.1. Giới thiệu	165
6.1.1. Tiến trình tối ưu hóa	166
6.1.2. Mức độ phù hợp của mô hình	167
6.1.3. Kế hoạch thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu	167
6.1.4. Tối ưu hóa đa mục tiêu	168
6.2. Thí nghiệm khởi đầu	168
6.2.1. Khái niệm	168
6.2.2. Ví dụ minh họa	169
6.3. Leo dốc tìm vùng cực trị	172
6.3.1. Khái niệm	172
6.3.2. Quy tắc xác định bước leo dốc	174
6.3.3. Ví dụ minh họa	178
6.4. Thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu	183
6.4.1. Kế hoạch thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu	184
6.4.2. Thực hiện thí nghiệm bề mặt chỉ tiêu	190
6.4.3. Phân tích kết quả thí nghiệm	191
6.4.4. Đồ thị bề mặt chỉ tiêu	193
6.4.5. Tối ưu hóa đơn mục tiêu	197
6.5. Tối ưu hóa đa mục tiêu	201
6.5.1. Cách tiếp cận	201
6.5.2. Hàm kỳ vọng	203
6.5.3. Trọng số	206
6.5.4. Hệ số mức độ quan trọng	208
6.5.5. Ví dụ minh họa	208
6.6. Các chú ý thiết kế thí nghiệm tối ưu	216
6.7. Kết luận chương	217
PHỤ LỤC 1. MỘT SỐ BẢNG THỐNG KÊ	218
PHỤ LỤC 2. CĂN BẢN SỬ DỤNG MINITAB	224
P.2.1. Khởi động và giao diện Minitab	224
P.2.2. Làm việc với dữ liệu	225
P.2.3. Quản lý tập tin Minitab	225
TÀI LIỆU THAM KHẢO	228

Chương 1

GIỚI THIỆU

1.1. Nghiên cứu thực nghiệm

Trong kỹ thuật, có hai chức năng nghiên cứu chủ yếu là *nghiên cứu sáng tạo* và *nghiên cứu thực nghiệm*.

Nghiên cứu sáng tạo (Creative research) là các nghiên cứu nhằm phát triển các lý thuyết mới, quá trình mới hay thiết kế các sản phẩm mới. Nghiên cứu sáng tạo bao gồm cả *nghiên cứu sáng tạo lý thuyết* (Creative theoretical research) và *nghiên cứu sáng tạo thực tế* (Creative practical research). Nghiên cứu sáng tạo lý thuyết nhằm khám phá hay tạo ra các mô hình mô tả, lý thuyết hay giải thuật mới. Nghiên cứu sáng tạo thực tế bao gồm các nghiên cứu nhằm *thiết kế* những sản phẩm, quá trình mới đáp ứng đòi hỏi thực tế của xã hội, của kỹ thuật.

Nghiên cứu thực nghiệm (Experimental research) là dạng nghiên cứu về mối quan hệ “Nguyên nhân - kết quả”. Trước hết, nhà nghiên cứu xác định các thông số (hay các biến) cần và có thể quan tâm. Sau đó, tiến hành các thí nghiệm nhằm quan sát, đánh giá xem mục tiêu (còn gọi là biến phụ thuộc, thông số đầu ra) thay đổi như thế nào khi một hay nhiều biến khác (gọi là biến độc lập hay thông số đầu vào) được thay đổi.

Nghiên cứu thực nghiệm đóng vai trò quan trọng trong khoa học kỹ thuật. Các mô hình, lý thuyết, giải thuật, quá trình mới luôn cần được kiểm nghiệm thực trước khi đem ra ứng dụng. Hơn nữa, nghiên cứu thực nghiệm còn có ý nghĩa bổ sung, hoàn chỉnh các kết quả nghiên cứu sáng tạo lý thuyết đã được phát triển.

Bên cạnh đó, các quá trình công nghệ và kỹ thuật thường rất phức tạp, bao gồm một tập hợp lớn các yếu tố ảnh hưởng và nhiều chỉ tiêu đánh

giả khác nhau. Trong đa số các các hệ thống hay quá trình kỹ thuật, các mối quan hệ vào-ra thường không thể mô tả được một cách đầy đủ bằng các hàm lý thuyết. Người ta thường mô hình hóa các quá trình, đối tượng cần nghiên cứu như một hộp đen (Black-box) như trên hình 1.1.



Hình 1.1. Sơ đồ một quá trình, hệ thống hay đối tượng nghiên cứu

Trên hình 1.1, các tín hiệu đầu vào được sơ đồ hóa thành 3 nhóm: đối tượng đầu vào, các tham số (yếu tố, nhân tố) có thể điều khiển được và các yếu tố không điều khiển được. Chúng ta không biết và không cần quan tâm những gì xảy ra bên trong hộp đen, nghĩa là cách thức các thông số nói trên tác động nhau như thế nào. Cái chúng ta quan tâm là làm sao để xác lập được quan hệ vào-ra, để từ đó có thể điều khiển được quá trình hay nhận được thông số ra của đối tượng theo ý muốn. Vấn đề này này có thể được giải quyết bằng thực nghiệm. Các thí nghiệm được tiến hành, hoặc trực tiếp trên các đối tượng hay hệ thống cụ thể, hoặc trên các mô hình thí nghiệm, nhằm thu thập thông tin về quá trình hay sản phẩm kỹ thuật.

Theo Montgomery, thí nghiệm là một quá trình kiểm nghiệm hay một chuỗi các kiểm nghiệm mà trong đó, các thông số đầu vào của một quá trình hay hệ thống được thay đổi một cách có chủ đích. Các thay đổi ở các kết quả đầu ra của hệ thống hay quá trình sẽ được quan sát, ghi nhận để sau đó phân tích, xác định các nguyên nhân, quan hệ giữa đầu vào và đầu ra của hệ thống, quá trình hay đối tượng thí nghiệm.

Ví dụ, trong một quá trình gia công cắt gọt kim loại, các yếu tố như giá trị vận tốc cắt, tốc độ chạy dao, loại chất bôi trơn, chiều sâu cắt v.v... có thể được xử lý như các biến số đầu vào; còn chất lượng bề mặt của chi tiết đã hoàn thiện có thể được xem xét như một đặc trưng của đầu ra. Để cải thiện chất lượng gia công, có thể tiến hành nghiên cứu bằng các thí nghiệm được tiến hành ngay trên thiết bị và điều kiện gia công thực tế. Bằng cách thay đổi các thông số vận tốc cắt, tốc độ chạy dao, loại chất bôi trơn, chiều sâu cắt ... theo một kế hoạch cụ thể, nhà nghiên cứu có thể dễ dàng xác định quan hệ giữa chúng với chất lượng bề mặt chi tiết được gia công. Rõ ràng, nếu không lập kế hoạch trước, ta khó có thể hình dung sẽ thay đổi từng thông số như thế nào; liệu kết quả đã tin cậy hay có thể rà soát hết được các tập hợp giá trị các thông số đầu vào hay chưa, liệu rằng độ lớn của vận tốc cắt có ảnh hưởng đến việc chọn lượng chạy dao hay không v.v ...

Trước đây, nghiên cứu thực nghiệm thường được tiến hành theo các phương pháp cổ điển, có tên gọi là “Một biến tại một thời điểm” (OVAT = One Variable At a Time). Thí nghiệm được tiến hành bằng cách thay đổi một thông số ảnh hưởng – một biến nào đó trong khi các biến khác được giữ nguyên. Khi tìm được một giá trị cho ra mục tiêu ưng ý, biến này sẽ được giữ nguyên giá trị cho các thí nghiệm tiếp theo. Một biến khác lại được tiếp tục thay đổi trong khi biến ban đầu và các biến còn lại khác lại được giữ nguyên. Phương pháp này chỉ phù hợp khi số biến độc lập là ít. Thêm nữa, ảnh hưởng tương tác giữa các yếu tố không được xem xét. Do vậy, kết quả nhiều khi không phản ánh đúng quá trình. Hơn nữa, số lượng thí nghiệm cần thực hiện sẽ tăng rất nhanh khi số biến tăng.

Vấn đề ảnh hưởng của sự tương tác giữa các yếu tố (Interaction effects) đến một quá trình luôn tồn tại trong mọi lĩnh vực, tác động đến mọi đối tượng xung quanh ta. Có thể một yếu tố được xét thấy có ảnh hưởng tốt đến đối tượng, nhưng nếu có một hay nhiều biến khác thay đổi thì ảnh hưởng của yếu tố đã xét sẽ không còn như trước nữa. Ví dụ, cung cấp nhiều phân bón cho cây trồng là có lợi cho sự phát triển của cây. Tuy vậy nếu vào