

# 의료용 베드 헤드 콘솔의 강도조건을 고려한 최적 설계

변성광\*, 최하영\*, 이봉구\*\*,#

\*동양미래대학교 기계공학부, \*\*영남이공대학교 기계계열

## Optimal Design of Medical Bed Head Consol Considering the Strength Condition

Sung-Kwang Byon\*, Ha-Young Choi\*, Bong-Gu Lee\*\*,#

\*Department of Mechanical Engineering, Dongyang Mirae University

\*\*Division of Mechanical Engineering Technology, Yeungnam University College

(Received 25 January 2015; received in revised form 24 February 2016; accepted 2 March 2016)

### ABSTRACT

Medical bed head consoles (BHC) are generally used to increase the efficiency of medical equipment and speed the medical treatment response time. The BHC design has been consistently improved including a movable shelf unit that is embedded to mount stably medical instruments on the lower part of the main console. The cost of a BHC can be reduced through design optimization to limit the overall weight. However, as the size of a head console might decrease due to design optimization, the BHC deflection could be increased. In this study, multi-objective optimal design was adopted to consider this BHC design problem. In order to reduce the cost of optimization planning, an approximate model was applied for the design optimization. In the context of approximate optimization, we used the response surface method and non-dominant sorting genetic algorithm developed from various fields. Multi-objective optimal solutions were also compared with a single objective optimal design.

**Key Words :** Bed Head Console(베드헤드콘솔), Response Surface Method(반응표면법), Central Composite Design(중심합성계획법), Optimization(최적화)

### 1. 서 론

의료용 베드 헤드 콘솔(Bed Head Console)은 병원의 병실에 마련된 침대의 머리맡 상부 부근에 설치되어 환자에 대한 각종 의료 행위를 보조하기 위한 장비로서, 환자의 상태를 모니터링하기 위한 각종 의료 장비나 환자에게 필요한 가스, 예를 들어

산소를 공급하기 위한 산소 공급기나 마취를 위한 마취 가스 공급 장비 등과 연결하여 전술한 장비들의 사용이 가능하도록 한다. 이러한 목적을 위해 의료용 베드 헤드 콘솔은 그 전방 커버에 의료 장비나 TV에 전원 공급을 위한 전원공급단자, 의료용 가스의 공급을 위한 가스공급단자, 조명 장치, 비상시 간호원을 호출하여 대화하기 위한 호출버튼, 마이크, 스피커 등을 포함하고 있다.

최근 의료 장비를 안정적으로 탑재할 수 있는 선반 유닛을 콘솔 본체의 하단에 그 길이방향을 따라 이동가능하게 구성함으로써 의료 행위나 통행에 지

# Corresponding Author: [positive@ync.ac.kr](mailto:positive@ync.ac.kr)

Tel: +82-53-650-9212, Fax: +82-53-625-0861

장을 초래하지 않으면서, 신속한 의료 행위를 위한 의료 장비의 효율적 사용이 가능하게 한 의료용 베드 헤드 콘솔이 많이 개발되어 사용되고 있다. 선반을 길이방향으로 자유롭게 이동이 가능하여 의료 장비의 효율적 사용이 가능하여 수요가 증가하고 있다.

본 연구에서는 선반 유닛을 부착한 베드 헤드 콘솔의 원가절감을 할 수 있도록 중량을 최소화하고자 한다. 하지만 베드 헤드 콘솔이 얇아짐에 따라 처짐이 커질 수 있는 문제가 발생할 수 있기 때문에 이를 해결하기 위해 중량과 처짐을 고려하는 다중목적 최적설계를 하였다. 다중목적 최적설계를 위해 여러 분야에 그 효용성이 증명된 다중목적 최적화 알고리즘인 비지배 분류 유전자알고리즘 (Non-dominant Sorting Genetic Algorithm, NSGA-II)<sup>[1]</sup>을 사용하였으며, 반응표면법으로 근사식을 생성하여 NSGA-II가 최적해를 찾아내기 위해 필요한 많은 데이터를 해결하였다. 또한, 다중목적 최적설계로 찾아낸 최적해들을 단일목적 최적설계의 최적해와 비교해 보았다.

## 2. 최적설계 정식화 및 해석모델

본 논문은 Fig. 1의 선반유닛 베드 헤드 콘솔을 최적설계의 대상으로 하였으며, 베드 헤드 콘솔의 최적설계는 Fig. 2와 같이 진행한다. 먼저 베드 헤드 콘솔의 설계변수와 목적함수, 제한조건을 정하고, 수립한 실험계획법에 따라 유한요소해석을 수행하여 데이터를 얻는다. 이 데이터를 반응표면법에 적용하여 근사식을 생성하고 최적설계알고리즘을 이용하여 최적해를 찾아낸다.



Fig. 1 Medical bed head consoles

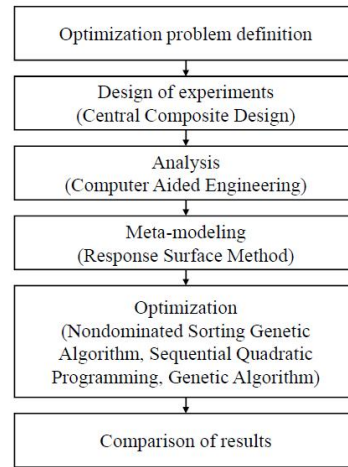


Fig. 2 Optimization process

### 2.1 최적설계 정식화

베드 헤드 콘솔의 형상을 최적 설계하기 위해 목적함수, 제한함수, 설계변수를 먼저 선정한다. 베드 헤드 콘솔 위 선반에 물체를 올렸을 때 콘솔의 변형이 최소로 발생하면서 콘솔의 중량이 최소가 되도록 목적함수로 아래와 같이 정한다. 제한조건은 콘솔의 파손이 일어나지 않도록 von Mises 응력을 항복강도 192 MPa 이하가 되도록 한다.

최적설계 대상인 베드 헤드 콘솔의 해석비용을 저감하기 위하여 실제 접촉이 일어나는 부분인 Fig. 3 (b)의 빨강선 안쪽 영역을 해석모델로 한다. 빨강선 안쪽영역의 선반을 제외한 베드 헤드 콘솔의 부분을 Fig. 3 (a)에 나타내었으며 설계변수를 보여주고 있다. 설계변수는 무게에 가장 큰 영향을 주는 베드 헤드 콘솔의 두께와, 선반을 베드 헤드 콘솔에 고정시 너트와 접촉하는 콘솔 부분의 길이와 높이로 하였다.

Minimize  $F_{weight}$

Minimize  $F_{deflection}$

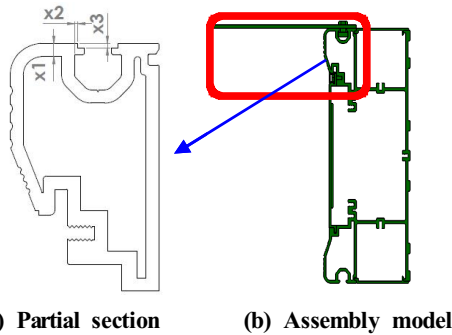
Subject to  $g_{stress}(x_i) \leq 192 MPa$

Design variables

$$1.7 \text{ mm} \leq x_1 \leq 3.3 \text{ mm}$$

$$0.0 \text{ mm} \leq x_2 \leq 2.25 \text{ mm}$$

$$0.0 \text{ mm} \leq x_3 \leq 1.5 \text{ mm}$$



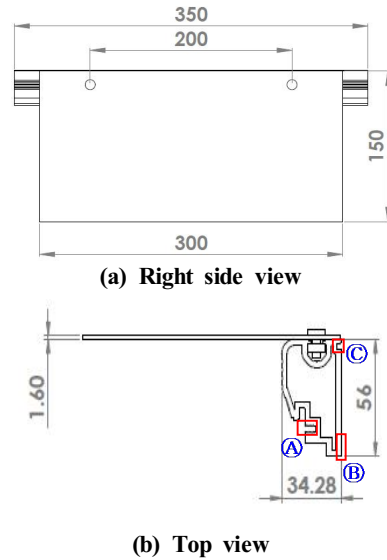
(a) Partial section (b) Assembly model  
**Fig. 3 Design Variables**

## 2.2 해석 모델

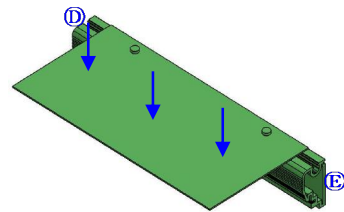
베드 헤드 콘솔의 3차원 유한요소해석은 실제와 가까운 결과를 얻을 수 있지만, 많은 접촉해석으로 해석비용이 급격히 증가된다. 해석비용을 저감하기 위하여 3차원 모델의 유한요소 해석 결과와 유사한 결과를 얻을 수 있는 2차원 유한요소해석 모델을 구축하였으며, Table 1에서 해석 결과를 비교하였다. 목적함수인 중량과 처짐, 제한조건인 응력이 모두 오차 1%이하로 잘 일치하였다.

3차원 유한요소해석에 사용되는 해석모델은 다음과 같다. 베드 헤드 콘솔의 본체는 Fig. 3 (a)의 설계변수가  $x_1$ 이 3.0 mm,  $x_2$ 가 1.95 mm,  $x_3$ 이 1.0 mm인 단면으로 하고, 길이는 350 mm로 하였다. 베드 헤드 콘솔 상부에 부착한 선반은 가로 300 mm, 세로 150 mm, 두께 1.6 mm의 선반을 Fig. 4와 같이 베드 헤드 콘솔 상부에 부착하였다. 유한요소해석에 사용되는 해석모델은 Fig. 3에서의 빨강선 부분으로 하였으며, Fig. 4에 확대하여 나타내었다. 전체 베드 헤드 콘솔 모델에서 분리된 부분 ①, ②, ③ 부분을 고정하고 콘솔의 측면 ④, ⑤는 커버로 결합되어 있기 때문에 콘솔 측면의 단면을 가로지르는 방향을 고정한다. 볼트는 M6 STS316을 사용하였으며, 체결력은 약 7640 N으로 하였다. 콘솔은 A6063을 사용하고, 선반은 SS400을 사용하였다. 해석에 사용된 물성치는 Table 2와 같다.

콘솔 선반위의 물체의 무게가 주로 150 N 이하이므로 하중을 Fig. 4 ③와 같이 선반 중심부분에 3개의 하중을 각각 50 N으로 가한다.



(b) Top view



(c) Load position

**Fig. 4 Analysis model**

**Table 1 Results of 3D & 2D FEM analysis**

Results	3D Model	2D Model
Weight [g]	575.39	575.39
Deflection [mm]	0.0081	0.0082
von Mises stress [MPa]	163.45	163.82

**Table 2 Material properties of the bed head consol**

Material	Young's modulus	Poisson ratio
consol	69.5 GPa	0.33
shelf	210.0 GPa	0.30
bolt	193.0 GPa	0.27

### 3. 최적 설계

#### 3.1 근사 모델

복잡한 설계 문제일수록 해석 비용이 기하급수적으로 증가하게 되고, 해석 비용이 증가될수록 근사 모델을 생성하여 근사최적설계<sup>[2,3]</sup>를 수행하게 되면 해석 비용을 줄일 수 있다.

근사모델을 생성하기 위해서 실험계획법 중 하나인 중심합성계획법을 사용한다<sup>[4,5]</sup>. 중심합성계획법은 중심점을 기준으로 특정인자 수준과 축점을 통해 실험을 한다. 중심합성계획법의 장점은 적은 수의 실험회수로 반응표면을 추정할 수 있고, 반응표면에 관한 연구를 1차 회귀모형을 사용하여 진행하다가 나중에 이 모형이 적당하지 않을 경우 추가로 중심과 축에 새로운 자료점을 증가시켜 2차 회귀모형을 추정할 수 있다.

반응표면법<sup>[6]</sup>은 여러 개의 인자의 복합적인 작용에 대한 반응변수에 영향과의 관계를 파악하는 것이며, 독립변수들과 종속변수 간의 함수관계를 데이터로부터 추정하여 독립변수들의 값의 변화에 따라 달라지는 반응량을 예측한다.

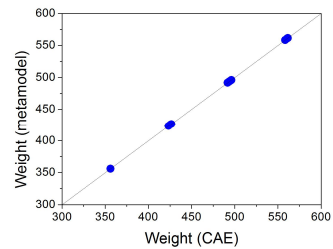
본 논문에서는 베드 헤드 콘솔의 형상을 근사 최적화하여 설계하고자 한다. 데이터는 ABAQUS<sup>[7]</sup>에 의해 유한요소해석을 수행하여 구하고, 반응표면법을 이용하여 근사모델을 생성하는 방법을 채택하였다. Table 3은 중심합성계획법에 의해 얻은 데이터를 보여주고 있으며, 이 데이터를 반응표면법에 적용하여 근사 모델을 생성하였다. Fig. 5에서 이 근사모델에서 얻은 값과 실제값을 비교하여 정확도를 보여주고 있다. 목적함수인 무게와 변위의 R-제곱(수정)은 각각 0.99로 실제값과 근사모델의 값이 비교적 높은 정확도를 보여주고 있음을 알 수 있다. 제한조건인 von Mises 응력의 정확도 또한 R-제곱(수정)이 0.99로 실제값과 근사모델의 값이 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

#### 3.2 베드 헤드 콘솔의 최적설계

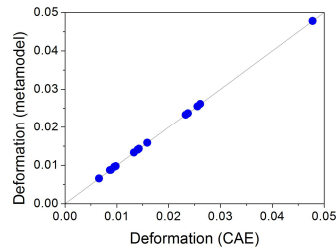
본 연구에서 생성된 근사모델을 베드 헤드 콘솔의 중량과 처짐을 최소화하도록 최적화 방법은 다중목적 유전자알고리즘인 NSGA-II와 단일목적

Table 3 Results of central composite design

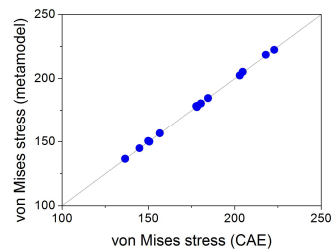
Design Variables [mm]			Weight [g]	Deflection [mm]	von Mises stress [MPa]
x1	x2	x3			
2.10	0.56	0.38	204.61	0.0261	425.75
2.10	0.56	1.13	150.63	0.0256	423.36
2.10	1.69	0.38	222.90	0.0237	426.55
2.10	1.69	1.13	177.70	0.0233	425.75
2.90	0.56	0.38	202.92	0.0098	560.78
2.90	0.56	1.13	149.94	0.0095	558.38
2.90	1.69	0.38	217.97	0.0087	561.57
2.90	1.69	1.13	178.11	0.0088	560.78
2.50	1.13	0.75	180.40	0.0142	493.48
1.70	1.13	0.75	184.61	0.0478	356.10
3.30	1.13	0.75	178.67	0.0066	624.85
2.50	0.00	0.75	136.56	0.0159	491.89
2.50	2.25	0.75	144.88	0.0133	495.08
2.50	1.13	0.00	144.88	0.0133	496.08
2.50	1.13	1.50	156.69	0.0140	491.89



(a) Weight (g)



(b) Deflection (mm)



(b) von Mises stress (MPa)

Fig. 5 Accuracy of response surfaces method

최적화 알고리즘 순차이차계획 알고리즘 (Sequential Quadratic Programming, SQP)<sup>[8]</sup> 및 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)<sup>[9]</sup>을 사용하는 근사최적설계 방법으로 하였다.

유전자알고리즘은 다윈의 진화과정을 이용하여 개발된 알고리즘으로 교배, 돌연변이, 재생산을 통해서 유전 연산자가 생성된다.<sup>[9]</sup> 다양한 방향으로 탐색하여 적합도에 따라 우수한 개체를 선택하여 최적해를 찾는다. 최적해를 찾기 위해 경사도 벡터를 사용하는 기존의 최적화 기법들에 비해 유전자 알고리즘은 국부 최적해가 존재할 경우에 더 안정적으로 최적해를 찾을 수 있는 장점이 있다.

다중목적 함수에서 목적함수들의 판단기준이 다르고, 목적함수들 간의 관계는 서로 상호보완 관계를 가지고 있기 때문에 다목적 함수에 대한 해는 하나의 최적해로 도출해 낼 수 없기 때문에 하나의 집합으로 나타내며, 이 집합의 해들을 파레토 최적해라고 한다. 다중목적 알고리즘인 NSGA-II 알고리즘은 다른 해로부터 지배되지 않는 파레토 최적해의 집합을 찾는 것이다. NSGA-II 알고리즘은 일반 유전자 알고리즘과 같이 교배와 돌연변이를 이용하는 것은 동일하지만, 개체를 선택하는 방법이 다르다. 개체를 선택하는 방법은 파레토 경계와 가까운 것을 기준으로 해들을 평가한다. 비지배 순위와 과밀 거리를 사용하여 유전자 개체 정렬을 하고, 개체에 비지배 순위를 부여한 뒤 동일 순위에 대해서 과밀거리가 높은 순으로 정렬한다.

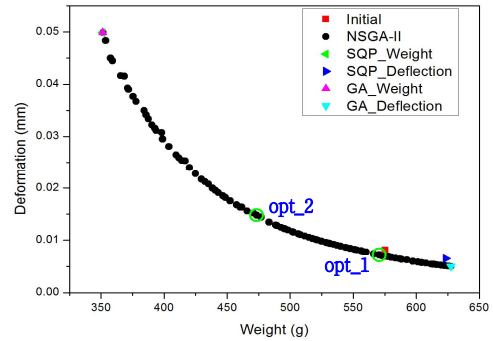
SQP 기법은 여러 변수를 가지는 비선형 방정식의 해를 찾아낼 수 있는 최적화 기법으로 빠른 수렴성과 공학분야에서 유용성을 보여주고 있다. SQP 기법은 비선형 문제를 풀기 위해 사용되는 것으로 최적화 정식화를 반복계산하고 각 반복계산에 있어서는 2차 프로그래밍 부속 문제의 해를 구한다. 강하 함수를 탐색방향으로 최소화하여 이동거리를 구하는 방법이다.

본 논문은 NSGA-II를 이용하여 베드 헤드 콘솔의 중량과 처짐을 서로 고려하여 최소화하도록 최적설계를 진행하였으며, 세대수 100, 인구수 100, 교배율 30%, 변이율 10%로 하였다.

본 연구에서의 베드 헤드 콘솔의 최적설계 문제에 대해 다목적 최적화 알고리즘 NSGA-II 와 단일

**Table 4 Results of the optimization**

Model	Design Variables [mm]			Weight [g]	Deflection [mm]	von Mises stress [MPa]
	x1	x2	x3			
initial	3.00	1.95	1.0	575.39	0.0082	163.82
opt_1 Approx. opt_1 CAE	2.94	2.16	0.00	570.60	0.0072	133.79
				569.71	0.0078	136.57
opt_2 Approx. opt_2 CAE	2.36	1.89	0.00	473.45	0.0147	135.12
				472.39	0.0158	142.07



**Fig. 6 Pareto solutions of NSGA-II**

목적 최적화 알고리즘 SQP 및 GA를 각각 적용하여 최적해를 Fig. 6에서 비교하였다. Fig. 6에서 NSGA-II를 적용한 경우 중량에 대한 최적해는 351.53 g ~ 627.45 g, 처짐에 대한 최적해는 0.0051 mm ~ 0.0499 mm로 분포되고 있음을 볼 수 있다.

SQP를 이용하여 중량을 최소화한 경우는 중량 351.32 g, 처짐 0.0499 mm이고, 처짐을 최소화한 경우는 중량 632.23 g, 처짐 0.0066 mm이다. 유전자알고리즘을 이용하여 중량을 최소화한 경우는 중량 351.32 g, 처짐 0.0499 mm이고, 처짐을 최소화한 경우는 중량 627.45 g, 처짐 0.0051 mm이다. 가장 작은 중량은 유전자알고리즘에 의해 얻었으며, 가장 적은 처짐은 NSGA-II에 의해 얻었다.

NSGA-II를 적용한 경우 다수의 파레토 최적해를 얻을 수 있기 때문에 설계자가 임의의 최적해를 선택할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 Fig. 6의 파레토 최적해들 중에서 중량과 처짐이 모두 감소하는 경우와 중량이 감소한 경우를 임의로 선택하여 초기모델과 비교하여 Table 4에 나타내었다. 근

사 최적화한 최적해 opt\_1의 경우 중량은 초기 모델의 경우 575.39 g이고 중량은 570.60 g으로 감소되었다. 처짐은 초기 모델의 경우 0.0082 mm이고 근사최적화 결과는 0.0072 mm로 감소되었다. von Mises stress는 133.79 MPa로 항복응력 이하로 제한조건을 만족한다. 이 근사 최적해를 유한요소 해석하였으며, 중량은 569.71 g이고, 처짐은 0.0078 mm, von Mises stress는 136.57 MPa로써 각각 약 1%와 약 8%, 약 2%의 오차가 발생하였다.

근사최적화한 최적해 opt\_2의 경우 중량은 473.45 g으로 감소되고, 처짐은 0.0147 mm로 감소되었으며 von Mises stress는 135.12 MPa로 항복응력이하로 제한조건을 만족하였다. 이 경우의 유한요소 해석 결과는 중량 472.39 g, 처짐 0.0158 mm, von Mises stress는 142.07 MPa로써 각각 약 1%와 약 7%, 약 5%의 오차가 발생하였다. 두 경우 모두 비교적 근사모델과 해석값이 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 중량은 변수  $x_1$ 에 영향을 많이 받았으며, 베드 헤드 콘솔과 선반이 접촉하는 부분의 접촉응력이 감소되도록 접촉 부위의 베드 헤드 콘솔 두께가 두꺼워 지는 방향으로 변수  $x_2$ 와  $x_3$ 가 변화하였다.

#### 4. 결 론

본 연구는 병원의 병실에서 침대 상부에 설치되어 각종 의료 행위를 보조하기 위한 장비인 의료용 베드 헤드 콘솔의 처짐 및 중량을 동시에 고려하여 저감하기 위한 근사최적설계 방법을 제시하였다. 근사최적설계를 위해 중심합성계획법과 반응표면법을 이용하여 근사값을 생성하여 다중목적 최적화 알고리즘 NSGA-II와 단일목적 최적화 알고리즘 SQP 및 GA를 각각 적용하여 최적해를 비교하였다. 다중목적 최적설계방법에 의해 얻은 최적해가 단일목적 최적설계방법에 의해 얻은 최적해에 비해 충분히 좋은 해들을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 다중목적 최적설계방법을 사용하여 다수의 파레토 최적해를 찾아냈기 때문에, 설계자는 중량과 처짐을 서로 고려하여 적절한 최적해를 선택하여 사용할 수 있는 장점이 있다.

#### 후 기

“이 논문은 동양미래대학교의 2015 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.”

#### REFERENCES

1. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T., “A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II,” IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, No. 2, pp. 182-197, 2002.
2. Song, B. C., Kim, S. R., Kang, Y. G., and Han, M. H., “A Study on the Comparison of Approximation Models for Multi-Objective Design Optimization of a Tire,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 5, pp. 117-124, 2011.
3. Park, J. C., Kim, K. M., Yin, J. J., and Lee, J. H., “Molding Design Factors Optimization for Maximizing Shrinkage Uniformity of Injection Molded Part using Design of Experiments,” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 6, pp. 70-76, 2011.
4. Song, B. C., Bang, I. K., Han, D. S., Han, G. J., and Lee, K. H., "Structural Design of a Container Crane Part-Jaw, Using Metamodels," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 7, No. 3, pp. 17-24, 2008.
5. Park, S. H., Modern Design of Experiments. Minyongsa, Korea, 1995.
6. Hong, G. J., Jeon, G. G., Cho, Y. S., Choi, D. H., and Lee, S. J., "A Study on the Construction of Response Surface for Design Optimization," Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 24, No. 6, pp. 1408-1418, 2000.
7. ABAQUS, ABAQUS Version 6.12, SIMULIA, 2012.

8. Fletcher, R., Practical methods of optimization, John Wiley and Sons, 2013.
9. Holland, J. H., Adaptation in Natural and Artificial Systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence, University of Michigan Press, 1975.