

자동귀환 서랍의 감성품질에 대한 설계인자 영향 분석

Effects of Design Parameters on the Ergonomic Quality of a Self-Closing Drawer

서만철¹, 김권희^{2,✉}
Man Cheol Seo¹ and Kwon Hee Kim^{2,✉}

¹ 고려대학교 대학원 기계공학과 (Graduate School, Department of Mechanical Engineering, Korea University)

² 고려대학교 기계공학부 (School of Mechanical Engineering, Korea University)

✉ Corresponding author: kwonhkim@korea.ac.kr, Tel: +82-2-3290-3360

Manuscript received: 2015.11.30. / Revised: 2016.3.29. / Accepted: 2016.5.1.

Self-closing drawers are used in high-end products, such as furniture, home appliances, and a range of other storage devices. In this study, a self-closing mechanism is proposed. A system consisting of a friction latch, constant force spring, rotary damper with rack, and pinion is developed. The retracting drawer can be latched at any position and can be reactivated by simple touch. The constant force spring and rotary damper offer smooth closing action. The ergonomic quality of the closing action is quantified by an index based on velocity-time behavior. The effects of various design parameters are analyzed with a dynamics model and experimentally validated by prototype testing.

KEYWORDS: Self-Closing drawer (자동귀환 서랍), Ergonomics index (감성품질 지수), ADAMS (아담스), Dynamics model (동역학 모델), Friction latch (마찰 잠금장치)

1. 서론

자동귀환 서랍은 가전제품, 의료 기구, 차량 등 감성품질이 중요한 고가 제품에 적용이 확대되고 있다.¹ 대부분의 경우, 귀환행정의 끝부분에서만 자동 복귀 기능이 가동되며 완충을 위한 스프링-댐퍼 기구를 갖는다.^{2,4} 이런 경우 자동 귀환 작동 구간이 짧아 자동 귀환보다는 완충의 역할이 크다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 작동 행정 전 구간의 임의 위치에서 멈출 수 있고, 단순한 조작으로 잠금 해제와 자동귀환 제작동이 가능한 서랍을 제시하였다.⁵ 정하중 스프링과 로터리 댐퍼를 사용하여 큰 범위의

자동귀환 거리를 구현하였다. 사용자의 품질 만족도를 높이기 위해서는 서랍이 부드럽게 닫히고, 최종 행정에서 충격이 발생하지 않아야 한다. 따라서 서랍의 운동 특성에 대한 세부적인 연구가 필요하다.

자동귀환 서랍과 관련된 연구로는 회전형 댐핑 장치에 대한 연구,⁶⁻⁹ 정하중 스프링의 특성에 대한 연구 등이 있다. 대형 냉장고 서랍의 모터를 이용한 자동 개폐 시스템에 대한 연구를 한 사례도 있다.¹⁰ 이 연구에서는 원가 절감을 위하여 전기장치의 사용은 배제하고 최소의 기계부품으로 시스템을 구성하였다.

서랍의 운동 특성을 예측하기 위하여, ADAMS

Student Edition¹¹을 이용한 동역학 시뮬레이션 모델을 만들고, 시제품 시험과 비교하여 검증하였다. 서랍의 운동 특성에 기반을 둔 감성품질 지수 (Ergonomics Index)를 제안하였고, 직교배열표를 이용하여 최적의 설계인자 조합을 도출하였다.

2. 자동귀환 서랍

2.1 자동귀환 구조

자동 귀환 서랍 장치의 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 서랍 좌우에 각각 한쪽 끝이 고정되는 두 세트의 3단 슬라이드 레일의 다른 쪽 끝은 서랍을 수용하는 프레임 내벽에 고정된다. 가이드레일 프레임 쪽 고정단에는 서랍의 구동 기구를 수용하는 고정판 (Base Plate)이 조립된다. 구동 기구는 마찰 잠금장치 (Friction Latch), 로터리 댐퍼 (Rotary Damper), 랙과 피니언 (Rack and Pinion) 및 정하중 스프링 (CFS, Constant Force Spring) 등으로 구성된다. 정하중 스프링의 드럼 부분은 서랍에, 끝부분은 가이드 판에 각각 고정되어 귀환력을 발생시킨다.

2.2 주요 설계 인자

자동 귀환 시 서랍에 가해지는 하중조건을 Fig. 2에 나타내었다.

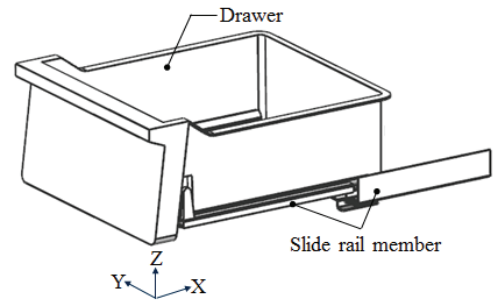
F_s 는 정하중 스프링의 하중이며, 다음과 같이 표현된다.^{12,13}

$$F_s = \frac{EI}{2R_n^2} \quad (1)$$

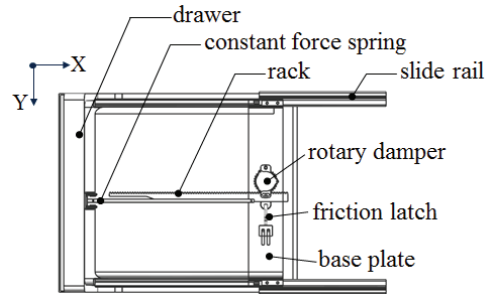
Fig. 3에 나타낸 R_n 은 스프링의 곡률반경, E 는 스프링 소재의 Young's Modulus, I 는 스프링 단면의 모멘트이다. 여기서 정하중 스프링의 자유 상태 곡률반경과 보빈의 반경은 R_n 으로 동일하다고 가정한다. 정하중 스프링의 드럼부분은 Drawer, 끝부분은 Base Plate에 각각 연결된다.

로터리 댐퍼는 로터 (Rotor)와 케이스 사이에 충전된 오일의 점성으로 감쇄력이 결정된다.¹⁴⁻¹⁷ 로터리 댐퍼에 장착된 피니언은 제동 토크 T_D 로랙의 운동을 제어한다. 피니언 축에는 일방향 베어링 (One Way Bearing)이 적용되어 서랍이 열리는 방향으로는 감쇄력이 작용하지 않는다.

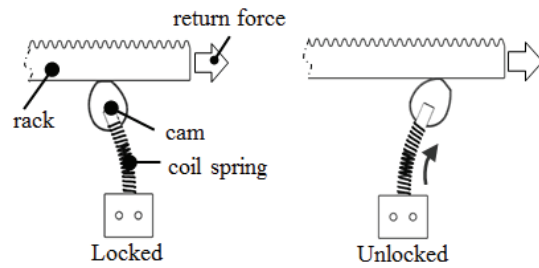
마찰 잠금장치가 서랍에 가하는 제동력 F_L 은 캠 접촉면에 코일 스프링으로 가해지는 수직항력 (Latch Contact Force)과 접촉면의 마찰계수로 결정



(a) Isometric view



(b) Major components



(c) Friction latch

Fig. 1 Self-Closing drawer system

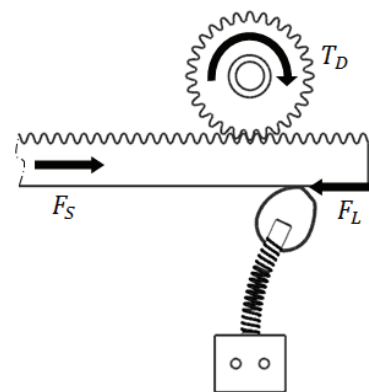


Fig. 2 Forces and torque acting on the rack during self-closing action with FS: Spring force, FL: Latch friction force and TD: Damper torque

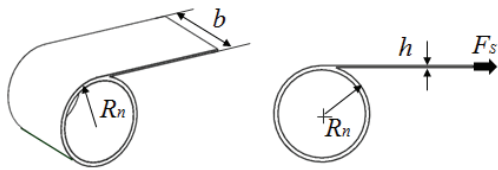


Fig. 3 Dimensions of the constant force spring

Table 1 Design parameters in 2 levels

	Design parameter	Level 1	Level 2
A	Spring force (N)	6.2	8.2
B	Damping coefficient (N·mm·sec/Deg)	0.077	0.148
C	Latch contact force (N)	3	5
D	Friction coefficient (Latch-Rack)	0.32	0.7

된다. 서랍을 열었다가 놓게 되면 코일 스프링의 압축량이 최대가 되어 서랍을 고정하는 역할을 하고, 사용자가 서랍을 닫는 방향으로 약간의 힘을 가하면 스프링이 좌굴 되어 서랍이 닫히기 시작한다 (Fig. 1(c) 참조). 이 경우에 서랍 진행 방향으로 압축스프링이 휘어 최소의 마찰력만 존재하게 되지만 서랍의 운동에 역시 영향을 미친다.

서랍의 운동 특성에 영향을 주는 설계 인자들을 각 2 수준으로 설정하여 Table 1에 정리하였다. 각 인자의 수준 값은 제작될 시제품을 기준으로 결정하였다.

3.1 차 모델 감성품질 평가

3.1 동역학 모델

설계 인자들의 영향을 평가하기 위해 Table 1에 수록된 변수들의 조합을 Fig. 4에 보인 동역학 모델에 적용하여 해석을 수행하였다. 모델은 서랍, 슬라이드 레일, 고정판, 정하중 스프링, 로터리 댐퍼, 랙, 마찰 잠금장치 등을 포함한다.

서랍의 무게는 2 kg, 그리고 슬라이드 레일의 마찰계수는 0.005를 적용하였다.

3.2 감성품질 지수

서랍의 운동 특성을 수치화하여 표현하기 위한 방법으로 감성 품질 지수를 제안하였다. 서랍의 총 이동 거리 S는 시제품을 기준으로 280 mm로 설정하고, 서랍이 완전히 열린 상태에서 닫히는 시간 T는 소비자들의 의견을 참고하여 2.0 sec로

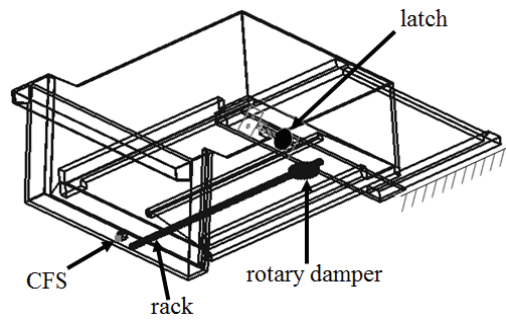


Fig. 4 Dynamics model of a self-closing drawer

Table 2 Results of simulation for the four parameters in Table 1

RUN	A	B	C	D	I
1	1	1	1	1	1.05
2	1	1	1	2	0.55
3	1	1	2	2	0.66
4	1	1	2	1	0.76
5	1	2	1	1	0.36
6	1	2	1	2	0.42
7	1	2	2	2	1.17
8	1	2	2	1	0.27
9	2	1	1	1	1.51
10	2	1	1	2	1.36
11	2	1	2	2	0.95
12	2	1	2	1	1.43
13	2	2	1	1	1.13
14	2	2	1	2	0.84
15	2	2	2	2	0.29
16	2	2	2	1	0.97

설정하였다. 처음 250 mm 구간에서 등가속도 운동을 하며, 마지막 30 mm 구간에서 등가속도로 감속하는 것을 이상적인 거동 V_I 로 정의한다. 이에 따라 감성품질 지수 (Ergonomics Index) I 는 다음과 같이 표현된다.

$$I = \frac{1}{S} \int_0^T \sqrt{(V - V_I)^2} dt \quad (2)$$

여기서 V 는 ADAMS 동역학 모델 시뮬레이션으로 얻어지는 서랍의 속도를 나타낸다. 이상적 운동과 실제 운동의 속도 그래프에서 면적의 차이가 감성품질 지수 I 가 되며, 이 값은 0에 가까울수록 좋다.

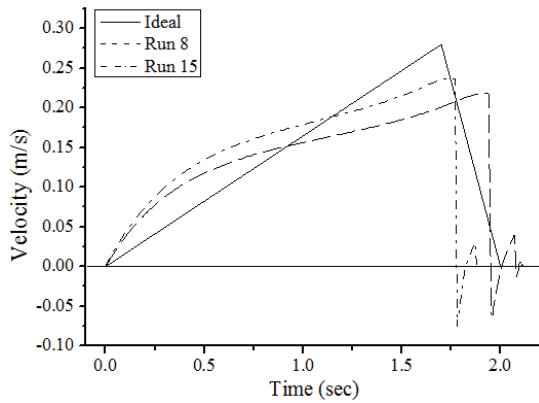


Fig. 5 Predicted velocities for Run 8 and Run 15 compared with ideal curve

3.3 1 차 모델 평가 결과

Table 1의 주요 설계 인자들의 영향을 분석하기 위하여 Table 2의 변수 조합을 기준으로 해석을 진행하고 감성 품질 지수를 평가하였다. Table 2의 결과로 8번 실험이 가장 낮은 인덱스 값을 갖는 것을 알 수 있다.

Table 2에서 가장 낮은 인덱스 값을 갖는 8번과 15번 실험의 속도-시간 그래프를 이상적 속도 V_I 와 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 8번의 경우 속도 패턴이나 서랍이 닫히는 데까지 걸리는 시간은 이상적 속도 그래프와 대체적으로 유사하나 완전히 닫히기 직전에 급 가속과 바운딩 (Bouncing)이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

4. 모델 검증

해석으로 예측되는 결과와 시제품에 대한 실험 결과를 비교하여 동역학 해석 모델을 검증하였다.^{18,19} 실험 장치의 구성은 Fig. 6과 같다. 흔들림이 가장 적은 서랍의 중앙에 가속도 센서를 부착하고 서랍이 움직이는 동안 측정된 데이터는 아두이노 (Arduino) 마이크로 컨트롤러를 통해 0.025 sec 간격으로 PC에 기록되었다. 가속도 센서는 MPU6050으로 입력 전압 3.3V, 차단주파수 250 Hz, 분해능 1/16384 (LSB/G), 측정 범위 ±4 (G)이다. 시제품은 Table 2의 8번 실험 조건을 기준으로 제작하였다. Fig. 7은 시제품 시험 결과와 ADAMS 시뮬레이션 결과를 이상적인 속도 V_I 와 비교하여 보이고 있다. 실험 결과와 동역학 모델의 해석 결과가 대체적으로 일치하는 것을 알 수 있다.

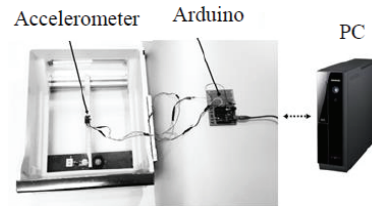


Fig. 6 Experimental setup

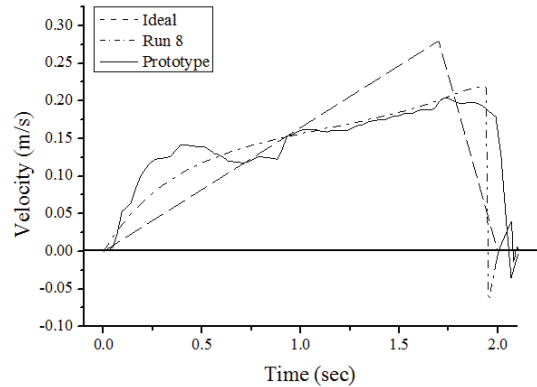


Fig. 7 Measured and predicted velocities for the Run 8 condition in Table 2 compared with ideal curve

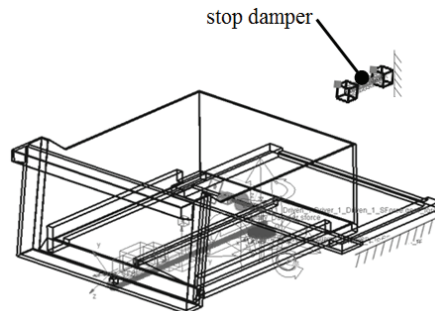


Fig. 8 Dynamics model of drawer with an added spring-damper assembly

5. 2 차 모델

5.1 정지완충 장치의 추가

Fig. 7에서 확인할 수 있듯이 서랍이 닫히면서 바운딩이 나타난다. 이에 대한 대책으로 정지 완충장치 (Stop Damper)의 적용을 검토하였다. 스프링-댐퍼 시스템으로 구성되는 정지완충장치는 Fig. 8에 보인 것과 같이 서랍의 전체 작동 행정 280 mm 중 마지막 30 mm 구간에서 부드러운 단힘을 유도하기 위하여 서랍 외부 프레임에 고정된다.

Table 3 Design parameters in 2 levels

	Design parameter	Level 1	Level 2
A	Spring force (N)	6.2	8.2
B	Damping coefficient (N·mm·sec/Deg)	0.077	0.148
C	Latch contact force (N)	3	5
D	Friction coefficient (Latch-Rack)	0.32	0.7
E	Spring stiffness (Stop Damper), (N/mm)	0.15	0.3
F	Damping coefficient (Stop Damper), (N·sec/mm)	0.02	0.04
G	Drawer load (kg)	0	5

Table 4 L8(2⁷) orthogonal array

Run	A	B	C	D	E	F	G	I
1	1	1	1	1	1	1	1	1.02
2	1	1	1	2	2	2	2	0.98
3	1	2	2	1	1	2	2	1.02
4	1	2	2	2	2	1	1	1.12
5	2	1	2	1	2	1	2	0.66
6	2	1	2	2	1	2	1	0.88
7	2	2	1	1	2	2	1	1.05
8	2	2	1	2	1	1	2	0.14

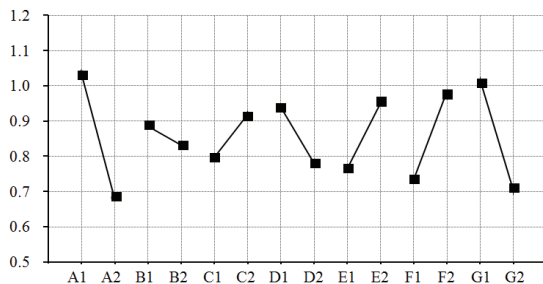


Fig. 9 Mean value analysis for the parameters in Table 4

5.2 직교배열표

2차 모델에서는 Table 1의 기존 설계 변수들에 정지완충장치의 스프링 강성계수 K , 감쇄계수 C 및 서랍 적재 중량 (Load) 등을 추가하여 Table 3와 같이 실험 조건을 설정하였다. Table 4에 보인 것과 같이 L8(2⁷) 직교배열표를 이용하여 총 7개의 2 수준 인자들에 대한 동역학 해석을 수행하고 감성 품질 지수 I 를 평가하였다.²⁰

Fig. 9에서 감성품질 지수에 가장 큰 영향을 미치는 인자들은 정하중 스프링의 힘인데, 이는 서랍의 진향 방향으로 작용하는 하중조건 중 가장

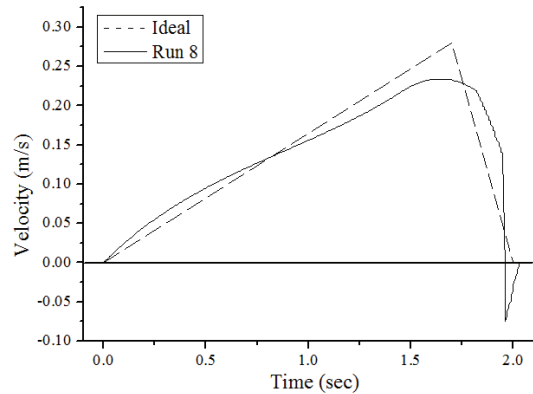


Fig. 10 Predicted velocity for the Run 8 condition in Table 4 compared with ideal curve

큰 요소이기 때문인 것으로 보인다. 이외에도 다른 변수들의 영향력이 적지 않아 변수들의 적절한 조합이 중요함을 판단할 수 있다. 가장 이상적인 조합은 Run 8과 일치한다.

Fig. 10은 Table 4의 Run 8에 대한 해석 결과와 이상적인 속도 선도를 비교한 것이다. 낮은 평가 지수가 표현하는 것처럼 서랍의 거동이 이상적인 형태에 가까운 것을 알 수 있다.

6. 결론

서랍의 자동 귀환 기구를 고안하고, 여러 변수들이 서랍의 운동 특성에 끼치는 영향을 평가하기 위해 동역학 해석을 진행하였다. 서랍의 운동 특성을 감성품질 지수로 평가하기 위한 인덱스를 제시하였다.

1차 실험을 통해 가장 좋은 조합을 찾아내었고, 그 조합과 동일한 조건으로 만들어진 시제품에 대한 실험을 통하여 해석 모델을 검증하였다. 2차 실험에서는 정지 완충장치를 추가하여 운동 특성이 개선된 모델을 제시하였다. Figs. 5와 10의 비교로 I 값이 0에 가까울 수록 이상적 서랍 운동에 가까우며, 제안된 감성품질 지수가 효과적임을 확인할 수 있다.

후 기

이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2007-0056094).

REFERENCES

1. Jung, D., Park, S., and Jeong, J., "A Study on Forming Analysis for the Roll Forming Process of 3 Point Under Rail," *Journal of the Korea Society for Power System Engineering*, Vol. 16, No. 6, pp. 52-58, 2012.
2. Rechberg, F. H. and Rechberg, J. A., "Drawer Slide Auto-Close Dampening System with Reset Feature," US Patent, No. 8459758 B2, 2013.
3. Chen, Y.-L., "Biaxial Flow Damper for Drawer," US Patent, No. 7784890 B1, 2010.
4. Doornbos, D. A., "Self-Closing Slide Mechanism with Damping," US Patent, No. 6848759 B2, 2005.
5. Kim, K.-H. and Kwak, M.-S., "Self Closing Apparatus for Drawers," KOR Patent, No. 10-2015-0140794, 2015.
6. Mohan, S. K. and Ramarao, B. V., "A Comprehensive Study of Self-Induced Torque Amplification in Rotary Viscous Couplings," *Journal of Tribology*, Vol. 125, No. 1, pp. 110-120, 2003.
7. Kim, S. and Park, Y., "Constrained Rotary MR Damper Design and its Application," M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, 1997.
8. Chew, C.-M., Hong, G.-S., and Zhou, W., "Series Damper Actuator: A Novel Force/Torque Control Actuator," *Proc. of 4th IEEE/RAS International Conference on Humanoid Robots*, pp. 533-546, 2004.
9. Lim C.-S., "Study for the Development of Damping Mechanism Using an Appliance through the Analysis of Effective Factors," M.Sc. Thesis, Department of Mechanical and Engineering, Korea University, 2013.
10. Jung B.-G., "A Driving Algorithm for Automatic Drawers of Refrigerator," M.Sc. Thesis, School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University, 2009.
11. MSC Software Corporation, "Adams 2015 Student Edition," <http://www.mssoftware.com/student-editions>, (Accessed 7 September 2015)
12. Lee, D.-H., "Load-Displacement Analysis of a Coil Type Constant-Force Spring," M.Sc. Thesis, Mechanical Engineering, Yeungnam University, 2009.
13. Ohtsuki, A., Ohshima, S., and Itoh, D., "Analysis on Characteristics of a C-Shaped Constant-Force Spring with a Guide," *JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing*, Vol. 44, No. 2, pp. 494-499, 2001.
14. Oshida, T., "Oil Filled Rotary Damper Having a Symmetrically Shaped Flexible Membrane," US Patent, No. 4614004 A, 1986.
15. Hayashi K. and Okabayashi, S., "Rotary Damper," US Patent, No. 7424939 B2, 2008.
16. Kosugi, A., Shibunushi, Y., and Nishiyama, Y., "One-Way Rotary Damper," US Patent, No. 5460252 A, 1995.
17. Okabe, H. and Takahashi, K., "Rotary Damper and Closure Device with Such Rotary Damper," US Patent, No. 5697122 A, 1997.
18. Cao, X. and Cleghorn, W., "Examples and Application of ADAMS Software in the Mechanics of Machines Teaching," *Proc. of 5th International Conference on Computer Science and Education*, pp. 1637-1641, 2010.
19. Han, J. H., Kim, T. M., and Kim, J. T., "Analysis of the Vibration Characteristics of a High-Speed Train using a Scale Model," *Journal of the Korean Society for Railway*, Vol. 16, No. 1, pp. 7-13, 2013.
20. Peace, G. S., "Taguchi Methods: A Hands-On Approach," Addison-Wesley, pp. 114-128, 1993.