เอกสารอ้างอิง

Barlow, R.E., and F. Proschan, Mathematical Theory of Reliability, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1965.

Bazovsky, Igor, Reliability Theory and Practice, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1962.

Epstein, B., The Exponential Distribution and Its Role in Life Testing, Technical Report 2, Department of Mathematics, Wayne State University, Detroit, Mich.,1958.

Enrick, Norbert L., Management Planning: A Systems Approach, Tata McGraw-Hill Publishing Co.Ltd., Bombay-New Delhi, 1967.

Federwicz, A.J., and M. Mazumdar, Use of Geometric Programming to Maximize Reliability Achieved by Redundancy, Operations Research, Vol. 16, pp.948-954, 1968.

Ghare, P.M., and R.E. Taylor, Optimal Redundancy for Reliability in Series System, Operations Research, Vol. 17, pp.838-867, 1969.

Gumbel, E.J., Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York, 1958.

Kao, J.H.K., Graphical Estimation of Mixed Weibull Parameters in Life Testing Electron Tubes, Technometrics, Vol. 1, No.4, 1959.

Lloyd, D. and M. Lipow, Reliability: Management, Methods and Mathematics, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1962.

Maintenance Plan for LTN-51 Inertial Navigation System., Litton Aero Products, Woodland Hills, California 91364, February 1972.

Meyer, Paul L., Introductory Probability and Statistical Applications, Addison-Wesley Publishing Company.

Mizukami, K., Optimum Redundancy for Maximum System Reliability by the Method of Convex and Integer Programming, Operations Research, Vol. 16, pp. 392-406, 1968.

Muth, E.J., Expected Value and Variance of Failure Time in Redundant Systems, IEEE Transactions on Reliability, Vol. R-22, No.2, pp. 103-105, 1973.

Patterson, R.L., Stochastic Failure Models Based upon Distribution of Stress Peaks, Technical Report 3, Project THEMIS, Industrial and Systems Engineering Department, University of Florida, Gainesville,Fla., 1967.

Polovko, A.M., Fundamentals of Reliability Theory, Academic Press, Inc., New York, 1968.

Proschan, F., and T.A. Bray, Optimal Redundancy Under Multiple Constraints, Operations Research, Vol.13, pp.800-814, 1965.

Rao,S.S., and R. Natarajan, Reliability with Standbys, Opsearch, Vol.7, No.1, March 1970.

Rau, J.G., Optimization and Probability in Systems Engineering, Van Nostrand-Reinhold, New York, 1970.

Sandler, G.H., System Reliability Engineering, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1963.

ภาคผนวก ก.

ระบบเดินอากาศด้วยความเฉื่อย

ระบบควบคุมบางอย่าง เช่น ระบบเดินอากาศ ถ้าใช้การหาอัตราเร็วแล้วคำนวณหาตำบลเพื่อทราบที่อยู่ปัจจุบัน และคำนวณตำบลในอนาคต จำต้องคิดรวมอัตราเร็วลมเข้าไปด้วย ซึ่งทำให้เครื่องบินแฉลบ ไม่เคลื่อนที่ตามแกนเครื่องบิน ในระบบที่ใช้ Continuous radar ใช้ Doppler principle รวมความเร็วลมเป็นความเร็วที่พื้นดิน (Ground speed) ได้โดยอัตโนมัติ แต่ระบบนี้ยังต้องอาศัย radar ซึ่งถ้าใช้ในดินแดนข้าศึก ย่อมเป็นการบอกตำแหน่งตัวเอง และถ้าพาหนะมีขนาดเล็ก การใช้ radar อาจต้องคำนึงถึงเนื้อที่ด้วย ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการคิดใช้ inertial element ขึ้น ซึ่งตามกฎของความเฉื่อย เมื่อวัตถุมีอัตราเร่งย่อมมี reaction เกิดเป็นแรง F = -ma เมื่อวัดแรงเทียบเป็นอัตราเร่งได้แล้ว integrate ๒ ครั้ง จะได้ตำบลที่อยู่ ซึ่งทำให้ได้ true speed และ actual position ในการเดินอากาศได้

แนวความคิดของการเดินอากาศด้วยความเฉื่อย (Inertial navigation) เห็นได้จากสองทาง (ซึ่งในที่สุดก็กลับมารวมกันเป็นทางเดียว) แม้ว่าโครงสร้างของระบบอาจจะแตกต่างกันได้ในทาง physics แต่หลักการคงเป็นอย่างเดียวกัน

แนวทางหนึ่งก็คือ หาตำบลที่อยู่ โดยการ integrate อัตราเร่งของพาหนะซ้ำ ๆ กัน ๒ ครั้ง แต่ถ้าจะให้เครื่องวัดอัตราเร่ง (accelerometer) วัดอัตราเร่งทางระดับ (ซึ่ง integrate ได้ระยะทางตามพื้นระดับขนานพื้นโลก) และไม่ถูกอัตราเร่ง g จากแรงดึงดูดของโลกมารบกวนเกี่ยวข้อง เราก็จะต้องติดตั้งเครื่องวัดอัตราเร่งบน stable platform ซึ่งรักษาพื้นระดับอยู่เสมอด้วย gyro

อีกแนวทางหนึ่งก็คือ หา Celestial fixing โดยต่อเนื่องตลอดเวลา ให้เส้นสายตาไปยังดวงดาวแหน่งด้วยทิศทางใน space ชุดหนึ่ง ซึ่งหามาได้โดย gyro ซึ่ง fix เทียบกับดาว

ในการค้นหาเราต้องได้ทิศทางเส้นดิ่งที่ถูกต้อง ซึ่งได้จากการทราบอัตราเร่งของพาหนะโดยแน่นอน ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นแนวความคิดใด เราต้องมี

(๑) ระบบ gyro เพื่อเป็นระบบโครงพิกัด stable

(๒) องค์ประกอบ ซึ่งชี้เส้นดิ่งอยู่เสมอ (t ปัจจุบัน)

(๓) Accelerometer วัดอัตราเร่งของพาหนะ

อัตราเร่งที่วัดได้ นำไปใช้ ๒ ทาง ร่วมกัน คือ

(๑) Integrate ๒ ครั้ง ให้ได้ระยะทางที่เคลื่อนที่

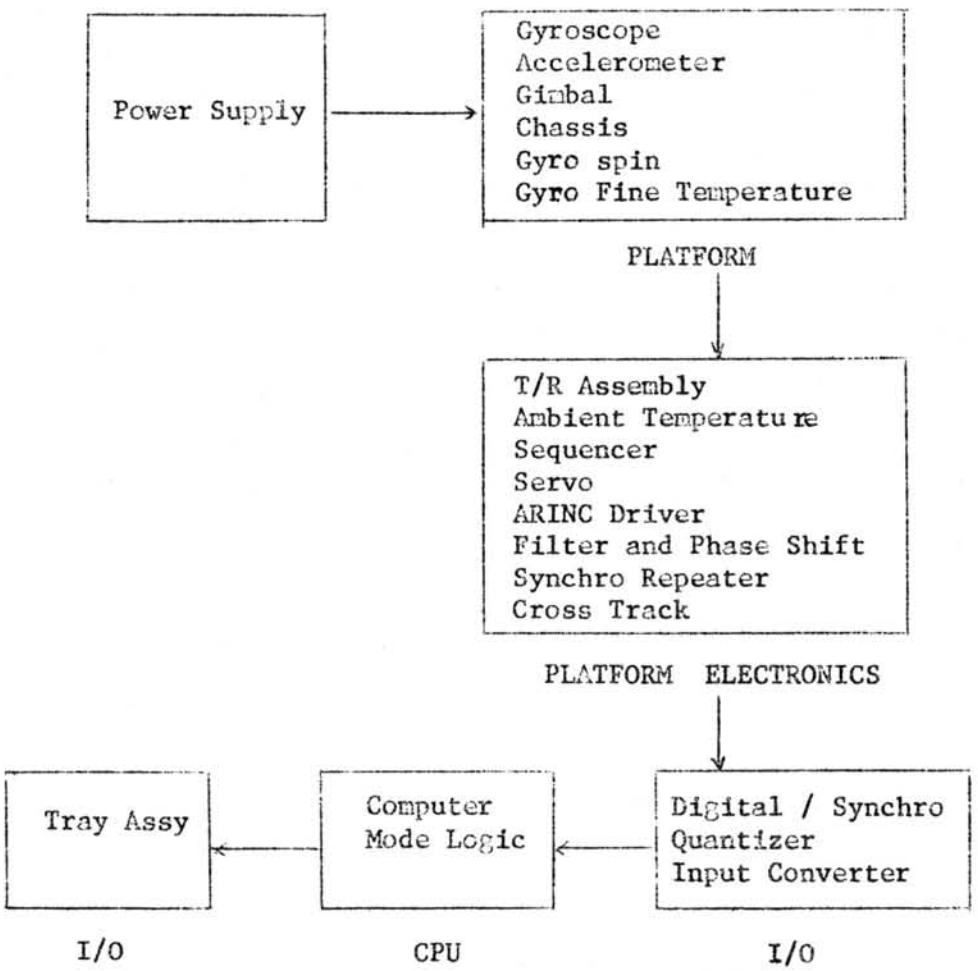
(๒) จาก (๑) ไปเข้า computer เพื่อทำให้องค์ประกอบดิ่ง ทิ้งดิ่งจริง ๆ เพื่อให้อัตราเร่งที่วัดได้ เป็นอัตราเร่งที่แท้จริง เพื่อจะได้ integrate ได้ถูกต้อง

ระบบเดินอากาศด้วยความเฉื่อย แบบ LTN-51 ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ ๒๑ ชนิดด้วยกัน คือ

Gyroscope	2	ชิ้นส่วน
Accelerometer	3	"
Gimbal	1	"
Computer	1	"
Chassis	1	"
I/O Tray Assy	1	"
Power Supply	1	"
Quantizer	1	"
Sequencer	1	"
Servo	1	"
Digital/Synchro	1	"
Cross track	1	"
Synchro Repeater	1	"
Mode Logic	1	"

ARINC Driver	1	ชิ้นส่วน
Gyro Spin	1	"
T/R Assembly	1	"
Input Converter	1	"
Ambient Temperature	1	"
Filter and Phase Shift	1	"
Gyro Fine Temperature	1	"

ซึ่งทั้ง ๒๑ ชิ้นส่วนใหญ่ ๆ ทำงานร่วมกัน ดัง block diagram



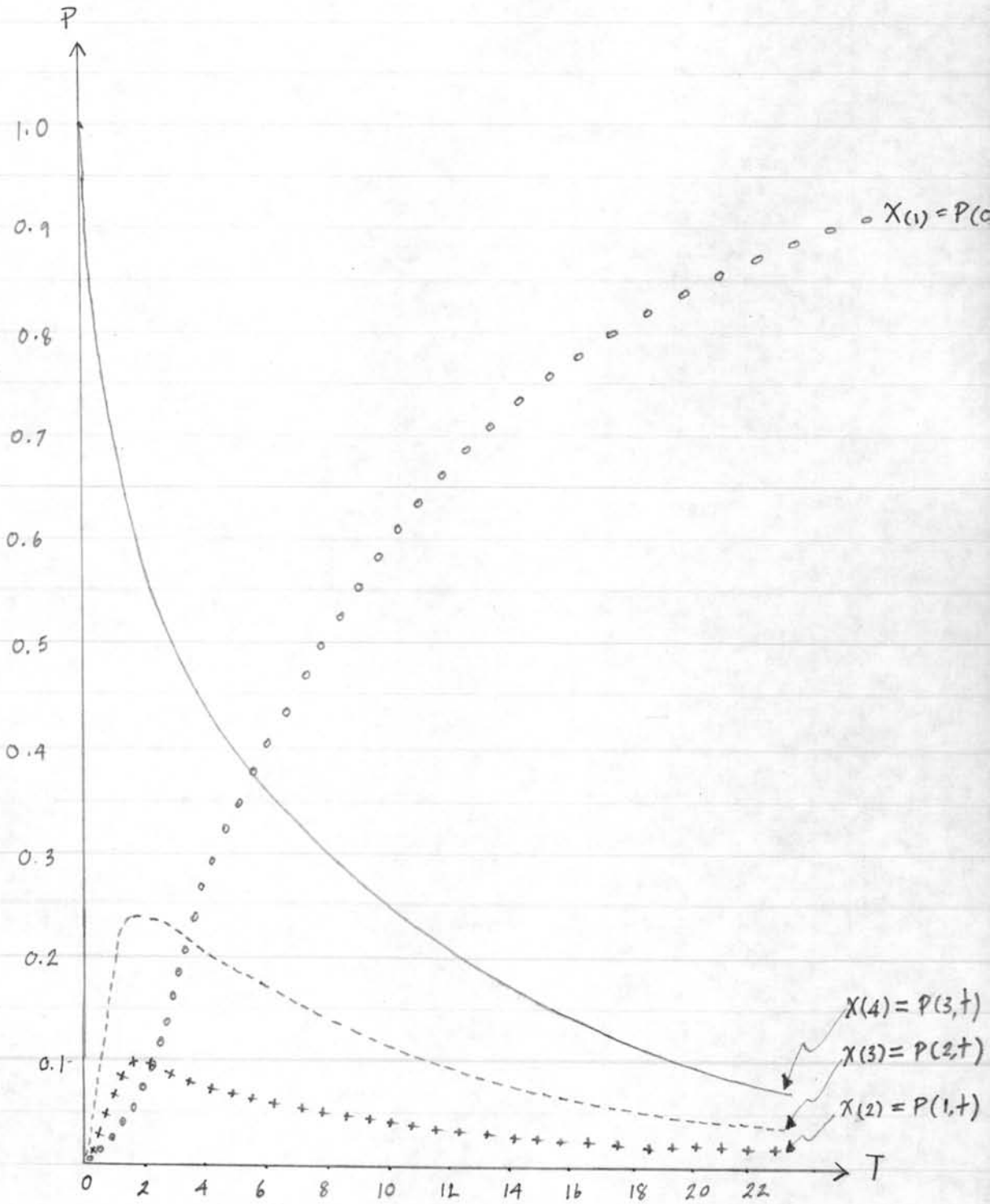
ภาคผนวก

```
  1 REM APPENDIX1
  2 REM "ROOTS OF POLYNOMIAL"
  3 DIM B(22),E(22),W(22),C(22)
  5 E0=1E-12: E1=1E-4: E4=1E-20: K1=100: S5=0
 10 PRINT "DEGREE OF POLYNOMIAL?":INPUT N
 15 PRINT "ENTER COEFF. : A0,A1,...,AN 1/LINE"
 20 FOR I=1 TO N+1:INPUT B(N-I+2)
 25 NEXT I:IF ABS(B(1))>=E0 THEN 35
 30 PRINT "A(N) ZERO OR NEARLY ZERO. CALCULATIONS END.":GOTO 999
 35 PRINT :PRINT "ROOTS:":IF N<=2 THEN 350
 40 B(N+2)=0: N1=2*INT((N+1)/2)
 45 FOR M1=1 TO N1/2: P,Q=1
 50 FOR K=1 TO K1:FOR L=1 TO K1
 55 FOR I=1 TO N1+1: C(I)=B(I):NEXT I
 60 FOR J=N1-2 TO N1-4 STEP -2:FOR I=1 TO J+1
 65 C(I+1)=C(I+1)-P*C(I): C(I+2)=C(I+2)-Q*C(I)
 70 NEXT I:NEXT J
 75 R0=C(N1+1): R1=C(N1)
 80 S0=C(N1-1): S1=C(N1-2)
 85 V0=-Q*S1: V1=S0-S1*P
 90 D0=V1*S0-V0*S1:IF ABS(D0)>=E4 THEN 110
 95 P=P+5: Q=Q+5
100 NEXT L
110 D1=S0*R1-S1*R0:D2=R0*V1-V0*R1
120 P1=D1/D0: Q1=D2/D0: P=P+P1: Q=Q+Q1
130 IF ABS(R0)>=E1 THEN 150:IF ABS(R1)>=E1 THEN 150
140 E(M1)=1:GOTO 210
150 IF ABS(P1)>=E1THEN 170:IF ABS(Q1)>=E1THEN 170
160 E(M1)=2:GOTO 210
170 IF P=0 THEN 180:IF ABS(P1/P)>=E1 THEN 200
180 IF Q=0 THEN 200:IF ABS(Q1/Q)>=E1 THEN 200
190 E(M1)=3:GOTO 210
200 NEXT K: E(M1)=4
210 S=-P/2: T=S*S-Q
220 IF T<0 THEN 240: T=SQR(T): W(M1)=1
230 PRINT :PRINT S+T:PRINT S-T:GOTO 260
240 W(M1)=-1: T=SQR(-T)
250 PRINT :PRINT S;"+I*";T:PRINT S;"-I*";T
260 IF E(M1)=4 THEN 999
270 FOR J=1 TO N1-1
280 B(J+1)=B(J+1)-P*B(J): B(J+2)=B(J+2)-Q*B(J)
290 NEXT J
300 N1=N1-2:IF N1>1 THEN 310:GOTO 999
310 IF N1>=3 THEN 340
320 M1=M1+1: E(M1)=1
330 P=B(2)/B(1): Q=B(3)/B(1):GOTO 210
340 NEXT M1
350 IF N=2 THEN 370
360 PRINT -B(2)/B(1):GOTO 999
370 B(3)=B(2)*B(2)-4*B(1)*B(3)
380 S=-B(2)/2/B(1): T=SQR(ABS(B(3)))/2/B(1)
390 M1,E(4)=4:IF SGN(B(3))<0 THEN 250:GOTO 230
999 END
```

```
DEGREE OF POLYNOMIAL? 3
ENTER COEFF. : A0,A1,...,AN 1/LINE
S^3+7*S^2+11*S+1=0

ROOTS:

-2.36413000E-09
-9.67880707E-02

-2.193936568123
-4.709275358723
```

```
  1 REM APPENDIX 2
  2 DIM X(20),F(10),K(4,10)
   3 GOTO 100
  5 REM --SUBROUTINE "RUNGE KUTTA"
  9 X(4) = 1-X(1)-X(2)-X(3)
 10 F(1) = X(2)
 11 F(2) = X(3)-3*X(2)
 12 F(3) = X(4)-3*X(3)+2*X(2)
 13F(4)=-X(4)+2*X(3)
 99 RETURN
 100DATA 4
101DATA 0,0,0,0,1
103DATA .5,20
210 PRINT "T                ",
 220 READ N,T
230 FOR I=1 TO N
240 READ X(I)
250 PRINT "X";I;,
260 NEXT I
270 READ D,B
280 A=T
285 FOR J=A TO B STEP D
286 PRINT
288 PRINT T,
290 FOR I=1 TO N
292 PRINT X(I),
294 NEXT I
300 FOR I=1 TO N
310 X(N+I)=X(I)
320 NEXT I
330 GOSUB 5
340 FOR I=1 TO N
350 K(1,I)=F(I)
360 NEXT I
370 D1=D/2
380 T=T+D1
390 FOR L=1 TO 3
400 T=T+INT(L/3)*D1
410 FOR I=1 TO N
420 X(I)=X(N+I)+D1*K(L,I)*INT(L/3+1)
430 NEXT I
440 GOSUB 5
450 FOR I=1 TO N
460 K(L+1,I)=F(I)
470 NEXT I
480 NEXT L
610 FOR I=1 TO N
620 X(I)=X(N+I)+D/6*(K(1,I)+2*K(2,I)+2*K(3,I)+K(4,I))
630 NEXT I
640 NEXT J
999 END
```

T	X 1	X 2	X 3	X 4
0	0	0	0	1
.5	2.60416666E-03	7.81250000E-02	.15625	.763020833334
1	3.57191297E-02	9.48079427E-02	.2140299479167	.6554429796012
1.5	7.71719791E-02	9.39194361E-02	.2322800954184	.5966284893182
2	.1197344273972	8.89242633E-02	.2341639885197	.5571773207211
2.5	.1611624714878	8.35917114E-02	.2291428348136	.5261029822842
3	.2008405355509	7.87616029E-02	.2212407798141	.4991570816582
3.5	.2386658666103	7.44803900E-02	.2122357463441	.4746179970336
4	.274685766675	7.06344983E-02	.2029375227088	.4517422122231
4.5	.3089840603469	6.71146734E-02	.1937212904285	.4301799758169
5	.3416480584178	6.38443692E-02	.1847600500491	.4097475223301
5.5	.3727604195411	6.07747435E-02	.1761300598991	.3903347769611
6	.4023980974092	5.78751925E-02	.1678603921204	.371866317889
6.5	.4306329437596	5.51260360E-02	.1599569021808	.3542841179838
7	.4575324681568	5.25138744E-02	.1524140762686	.3375395811462
7.5	.4831604330487	5.00288742E-02	.1452209756232	.3215897170824
8	.507577275543	4.76632467E-02	.1383642456904	.3063952320041
8.5	.5308404065426	4.54104131E-02	.1318296436618	.2919195366449
9	.5530044328106	4.32645509E-02	.1256028103434	.2781282058713
9.5	.5741213324597	4.12203476E-02	.1196696540684	.2649886658297
10	.5942406021926	3.92728648E-02	.1140165347596	.2524699981602
10.5	.6134093867773	3.74174624E-02	.1086303450224	.2405428057779
11	.6316725966261	3.56497530E-02	.1034985383773	.2291791119439
11.5	.649073016755	3.39655745E-02	9.86091306E-02	.2183522780503
12	.6656514089778	3.23609706E-02	9.39506878E-02	.2080369325318
12.5	.6814466084226	3.08321768E-02	8.95123078E-02	.1982089069031
13	.6964956150421	2.93756088E-02	8.52835993E-02	.1888451767804
13.5	.7108336805667	2.79878532E-02	8.12546595E-02	.1799238067139
14	.7244943912281	2.66656583E-02	7.74160522E-02	.1714238981605
14.5	.7375097465102	2.54059266E-02	7.37587866E-02	.1633255401941
15	.7499102341466	2.42057070E-02	7.02742960E-02	.1556097626887
15.5	.7617249015572	2.30621880E-02	6.69544186E-02	.1482584917908
16	.7729814239013	2.19726908E-02	6.37913777E-02	.1412545075341
16.5	.7837061689108	2.09346633E-02	6.07777642E-02	.1345814034775
17	.7939242586579	1.99456741E-02	5.79065189E-02	.1282235482615
17.5	.8036596284036	1.90034064E-02	5.51709161E-02	.1221660489854
18	.8129350826655	1.81056530E-02	5.25645479E-02	.1163947163181
18.5	.8217723486366	1.72503111E-02	5.00813089E-02	.1108960312585
19	.8301921270798	1.64353769E-02	4.77153824E-02	.1056571134673
19.5	.8382141408186	1.56589417E-02	4.54612263E-02	.1006656910947
20	.8458571809367	1.49191865E-02	4.33135604E-02	9.59100720E-02


P
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
T
X(1) = P(0
X(4) = P(3,t)
X(3) = P(2,t)
X(2) = P(1,t)

ผนวก ข. (โปรแกรมที่ ๓)

```
 10 REM APPENDIX 3
 11 REM ESTIMATED VALUE OF NO. OF COMPONENTS IN SUBSYSTEMS
 20 DIM R(21),C(21),A(21),N(21)
 30 FOR I=1TO 21
 40 READ R(I),C(I)
 50 NEXT I
 60 DATA .586255,4,.500574,4,.728331,4,.608962,8,.793739,3,.685231,3
 70 DATA .793739,2,.874590,6,.834435,5,.885148,4,.929601,5,.907556,4
 80 DATA .958870,5,.925181,6,.988072,4,.976286,3,.940823,3,.976286,3
 90 DATA .988072,3,.988072,2,.976286,4
100 FOR I=1TO 21
110 A(I)=C(I)/LOG(1-R(I))
120 B=B+A(I)
130 NEXT I
140 FOR I=1TO 21
150 A(I)=A(I)/B
160 N(I)=LOG(1-0.95^A(I))/LOG(1-R(I))
170 PRINT TAB(20);"N";I;" = ";N(I)
180 NEXT I
190 END
```

```
N 1  =  6.051303923459
N 2  =  7.347145587973
N 3  =  4.396448967587
N 4  =  5.017592208657
N 5  =  3.932650516629
N 6  =  5.101449167655
N 7  =  4.189286809642
N 8  =  2.788545999749
N 9  =  3.240740349334
N 10  =  2.881500302915
N 11  =  2.342748014947
N 12  =  2.658953020514
N 13  =  2.005919370791
N 14  =  2.318583074074
N 15  =  1.569593288786
N 16  =  1.889665349005
N 17  =  2.401804828974
N 18  =  1.889665349005
N 19  =  1.634522402051
N 20  =  1.726045913151
N 21  =  1.81281760695
```

ผนวก ข. (โปรแกรมที่ ๔)

```
 10 REM APPENDIX 4
 11 REM FIXED RELIABILITY LEVEL >=0.95
 20 DIM R(21),C(21),E(21),N(21)
 21 C0=9999 : R0=0
 30 FOR I=1TO 21
 40 READ R(I) : NEXT I
 50 DATA .586,.501,.728,.609,.794,.685,.794,.875,.834,.885,.930
 60 DATA .908,.959,.952,.988,.976,.941,.976,.988,.988,.976
 70 FOR I=1TO 21
 80 READ C(I) : NEXT I
 90 DATA 4,4,4,8,1,3,2,6,5,4,5,4,5,6,4,3,3,3,3,2,4
100 E(1)=6:E(4)=5:E(5)=4:E(6)=5:E(7)=4:E(10)=3:E(13)=2:E(16)=2
110 E(18)=2:E(21)=2
120 FOR I1=7TO 8 : E(2)=I1 : FOR I2=4TO 5 : E(3)=I2
130 FOR I3=2TO 3 : E(8)=I3 : FOR I4=3TO 4 : E(9)=I4
140 FOR I5=2TO 3 : E(11)=I5 : FOR I6=2TO 3 : E(12)=I6
150 FOR I7=2TO 3 : E(14)=I7 : FOR I8=1TO 2 : E(15)=I8
160 FOR I9=2TO 3 : E(17)=I9 : FOR I0=1TO 2 : E(19)=I0
170 FOR J1=1TO 2 : E(20)=J1
180 R1=1
185 FOR N=1TO 21
190 R1=R1*(1-(1-R(N))^E(N))
195 NEXT N
200 IF R1<=0.95 THEN 285
205 X=0
210 FOR N=1TO 21
220 X=X+C(N)*E(N)
230 NEXT N
240 PRINT R1,X
250 IF X>=C0 THEN 285
260 C0=X : R0=R1
270 FOR I=1TO 21
280 N(I)=E(I) : NEXT I
285 NEXT J1 :NEXT I0 :NEXT I9 :NEXT I8 :NEXT I7 :NEXT I6
290 NEXT I5 :NEXT I4 :NEXT I3 :NEXT I2 :NEXT I1
300 PRINT :PRINT :PRINT TAB(30);"RELIABILITY LEVEL =";R0
310 PRINT :PRINT TAB(30);"MINIMUM COST      =";C0
320 PRINT :PRINT TAB(30);"NUMBER OF COMPONENTS IN SUBSYSTEMS"
330 PRINT TAB(37);N(1);N(2);N(3);N(4);N(5);N(6);N(7)
340 PRINT TAB(37);N(8);N(9);N(10);N(11);N(12);N(13);N(14)
350 PRINT TAB(37);N(15);N(16);N(17);N(18);N(19);N(20);N(21)
360 END
```

. 9515141787457	276
. 9504817635543	279
. 9536060572454	282
. 9508066894849	276
. 9528970125886	282
. 9520314633077	278
. 9551608509601	281
. 9541244790438	284
. 9572607465713	287
. 9509717273003	275
. 9530624132351	281
. 9500630460325	282
. 9521967137152	277
. 9553266445562	280
. 9542900927502	283
. 9574269046603	286
. 9514887169623	277
. 9546163205729	280
. 9535805394852	283
. 9567150190488	286
. 9516120630939	281
. 9505795416956	284
. 9537041567897	287
. 9558460017409	282
. 9589879280223	285
. 9579474036379	288
. 9610962373602	291
. 9508607389636	275
. 9529511808936	281
. 9520855824098	277
. 9552151479552	280
. 9541787171255	283
. 9573151629369	286
. 9513776682875	277
. 9545049068742	280
. 9534692466728	283
. 95660336041	286
. 9515010000233	281
. 9504685991312	284
. 9535928495501	287
. 9557344445255	282
. 9588760041113	285
. 9578356011668	288
. 9609840673875	291

.9516175659015	289
.9515428052115	276
.9546705866137	279
.953634746646	282
.9567694043921	285
.9516661583547	280
.9506335782619	283
.9537583709777	286
.955900337684	281
.9590424425711	284
.9580018590373	287
.9611508717579	290
.9509585560912	280
.953049213069 5	286
.9551895871369	281
.9583293557422	284
.9572895459238	287
.9604362172264	290
.9521835255398	282
.9553134130303	285
.9542768755806	288
.9574136440451	291
.9513023387455	285
.9595638198258	286
.9513023387455	286
.9513023387456	287
.9627179668105	289
.9502701534055	288
.9533937515207	291
.9502701534057	289
.9502701534056	290
.9616733952464	292
.9533937515208	292
.9533937515208	293
.964834476539	295

RELIABILITY LEVEL = .9509717273003

MINIMUM COST = 275

NUMBER OF COMPONENTS IN SUBSYSTEMS

6	7	5	5	4	5	4
3	3	3	2	3	2	2
2	2	3	2	2	2	2

ประวัติการศึกษา

เรืออากาศโท หญิง ประนอม ศรีนพคุณ จบปริญญาตรีทางวิทยาศาสตร์ สาขา คณิตศาสตร์ จากจุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. ๒๕๑๔ ปัจจุบันรับราชการใน ตำแหน่ง อาจารย์ผู้ช่วย กองวิชาคณิตศาสตร์ กองการศึกษา โรงเรียนนายเรืออากาศ กรมยุทธศึกษาทหารอากาศ.