



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

О Т Ч Е Т

по лабораторной работе № 3

Название: Реконструкция математической модели системы по неполным
данным

Дисциплина: Теория систем и системный анализ

Студент

ИУ6-72Б

(Группа)

(Подпись, дата)

С.В. Астахов

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

(Подпись, дата)

(И.О. Фамилия)

Москва, 2022

Вариант 1

Цель: исследование алгоритма реконструкции математической модели сложной системы по временному ряду.

Ход работы

Задание: выполнить реконструкцию математической модели системы по временному ряду:

1. Сформировать ВР $a_i(i\Delta t)=a_i$, $i=1, \dots, N$, где $N=400 \div 500$;
2. Восстановить вектор переменных состояния, задав $n=3$;
3. Построить ММС;
4. Исследовать поведение системы и ее модели в системе MATLAB;
5. Построить графики изменения сигналов и фазовые портреты.

Заданная функция: $y=2\sin(x)$;

Код заданной функции в MATLAB показан на рисунке 1.

```
function y = func(x)
    y = 2*sin(x);
endfunction
```

Рисунок 1 — код заданной функции

Формирование временных рядов осуществляется программным кодом, представленным на рисунке 2.

```
% формирование необходимых временных рядов
% границы отрезка
a = 0;
b = 8;
global C x1 x2 x3 x4;
n = 400;
m = 20;
% шаг интегрирования
step = (b - a) / n;
% временная ось
x = a:step:b;
% значения исходной функции
```

Рисунок 2 — формирование временных рядов

Параметры реконструкции: степень полинома $v=3$ и размерность вектора $n=3$.

Реконструкция системы осуществляется с помощью системы дифференциальных уравнений, представленной на рисунке 3.

```
function f = systema(~, x)
    global C;
    f(1) = x(2);
    f(2) = x(3);
    f(3) = (C(1) + C(2)*x(1) + C(3)*x(2) + C(4)*x(3) + C(5)*x(1)*x(2) ...
    + C(6)*x(2)*x(3) + C(7)*x(1)*x(3) + C(8)*x(1)*x(1) ...
    + C(9)*x(2)*x(2) + C(10)*x(3)*x(3) + C(11)*x(1)*x(2)*x(3) ...
    + C(12)*x(1)*x(1)*x(2) + C(13)*x(1)*x(1)*x(3) ...
    + C(14)*x(1)*x(2)*x(2) + C(15)*x(2)*x(2)*x(3) + C(16)*x(1)*x(3)*x(3) ...
    + C(17)*x(2)*x(3)*x(3) + C(18)*x(1)*x(1)*x(1) ...
    + C(19)*x(2)*x(2)*x(2) + C(20)*x(3)*x(3)*x(3));
    f = f';
endfunction
```

Рисунок 3 — система дифференциальных уравнений

Неизвестные коэффициенты C_i будут найдены из системы линейных алгебраических уравнений, составленных по выборочным значениям ряда. Решение системы дифференциальных уравнений будет осуществляться методом Рунге – Кутты 4 порядка.

Код, решающий задачу показан на рисунках 4-6.

```
y = func(x);
y2 = zeros(1,n+1);
y3 = zeros(1,n+1);
y4 = zeros(1,n+1);
x1 = zeros(m,1);
x2 = zeros(m,1);
x3 = zeros(m,1);
x4 = zeros(m,1);
C = zeros(1,m);
% Вычисление производных
for i=1:n-1
    y2(i)=(y(i+1)-y(i))/step;
end
for i=1:n-1
    y3(i)=(y2(i+1)-y2(i))/step;
end
for i=1:n-1
    y4(i)=(y3(i+1)-y3(i))/step;
end
% выборочные точки
for i=0:m-1
    x1(i+1)=y(round(n/m)*i+1);
    x2(i+1)=y2(round(n/m)*i+1);
    x3(i+1)=y3(round(n/m)*i+1);
    x4(i+1)=y4(round(n/m)*i+1);
end
```

Рисунок 4 — решение задачи

```

% формирование нелинейной функции
A = zeros(m,m);
for i=1:m
    A(i,:) = [1 x1(i) x2(i) x3(i) x1(i)*x2(i) ...
              x2(i)*x3(i) x1(i)*x3(i) (x1(i))^2 (x2(i))^2 ...
              (x3(i))^2 x1(i)*x2(i)*x3(i) (x1(i))^2*x2(i) ...
              (x1(i))^2*x3(i) x1(i)*(x2(i))^2 (x2(i))^2*x3(i) ...
              x1(i)*(x3(i))^2 x2(i)*(x3(i))^2 (x1(i))^3 ...
              (x2(i))^3 (x3(i))^3];
end

% нахождение коэф. Ci и решение системы дифф. уравнений

C = A\x4;
disp('C = ');
disp(C);
[~, s] = ode45('systema', x, [x1(1) x2(1) x3(1)]);
disp('The solve is ');
disp(s);
% визуализация результатов
Y = s(:,1);
Y2 = s(:,2);

```

Рисунок 5 — решение системы ДУ

```

figure;
plot(x,y,'-b',x,Y,'-r');
grid on
title('График моделируемой и оригинальной функций');
legend('оригинальная функция','моделируемая функция', 'location', 'northeast')
figure;
plot(y,y2, '-b',Y,Y2,'-r')
grid on
title('Фазовые портреты');
legend('оригинальная функция','моделируемая функция', 'location', 'northeast')

```

Рисунок 6 — визуализация результатов

Результаты реконструкции ММС представлены на графиках функций и фазовых портретах (рисунки 7 и 8).

Так как исходная функция имеет довольно простое поведение (мало экстремумов и точек перегиба) на рассматриваемом отрезке, полином 3ей степени позволяет получить приемлемый уровень аппроксимации, что видно по графикам и фазовым портретам функций.

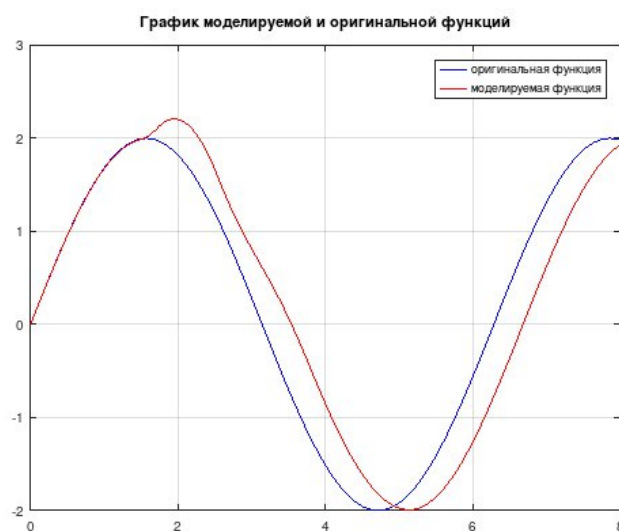


Рисунок 7 — графики функций

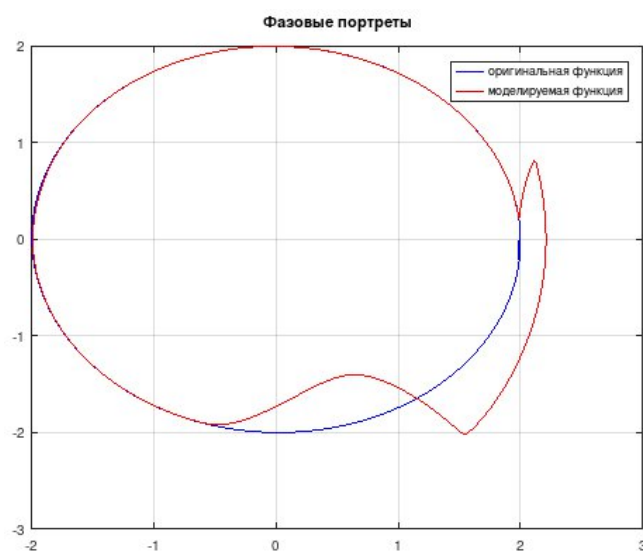


Рисунок 8 — фазовые портреты

Вывод: в ходе данной лабораторной работы были приобретены теоретические знания о процессе реконструкция математической модели системы по неполным данным, а также практические навыки применения алгоритма реконструкции математической модели сложной системы по временному ряду.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты реконструкции ММС

C =

2978.825
878.243
2589.165
-488.221
-35.612
-20.857
268.516
-607.024
-745.275
130.759
79.103
-616.802
144.193
-262.936
91.840
-109.136
41.011
-176.041
-648.249
-87.726

The solve is

0.00000	1.99987	-0.04000
0.03999	1.99876	-0.06900
0.07995	1.99707	-0.10202
0.11987	1.99465	-0.14002
0.15973	1.99145	-0.17946
0.19952	1.98747	-0.21914
0.23922	1.98269	-0.25874
0.27882	1.97712	-0.29809
0.31830	1.97077	-0.33745
0.35765	1.96363	-0.37661
0.39684	1.95570	-0.41549
0.43587	1.94701	-0.45440
0.47472	1.93753	-0.49282
0.51336	1.92729	-0.53130
0.55180	1.91629	-0.56933
0.59001	1.90452	-0.60715
0.62798	1.89200	-0.64496
0.66569	1.87873	-0.68195
0.70312	1.86472	-0.71917
0.74027	1.84997	-0.75597
0.77712	1.83449	-0.79200
0.81364	1.81829	-0.82817
0.84984	1.80137	-0.86419
0.88569	1.78373	-0.89922
0.92119	1.76540	-0.93382
0.95631	1.74637	-0.96842
0.99104	1.72666	-1.00289
1.02537	1.70627	-1.03691
1.05928	1.68521	-1.07013
1.09277	1.66349	-1.10266
1.12582	1.64111	-1.13477
1.15841	1.61810	-1.16657
1.19054	1.59443	-1.20015
1.22219	1.57015	-1.23181
1.25334	1.54526	-1.26241
1.28399	1.51979	-1.29096
1.31413	1.49374	-1.31912

1.34374	1.46711	-1.34839
1.37281	1.43990	-1.37630
1.40133	1.41215	-1.40385
1.42929	1.38384	-1.43071
1.45668	1.35501	-1.45706
1.48349	1.32565	-1.48284
1.50970	1.29579	-1.50778
1.53532	1.26543	-1.53141
1.56032	1.23459	-1.55382
1.58470	1.20328	-1.57570
1.60844	1.17153	-1.59722
1.63155	1.13934	-1.61830
1.65402	1.10672	-1.63899
1.67582	1.07369	-1.65937
1.69696	1.04027	-1.67945
1.71743	1.00647	-1.69918
1.73722	0.97230	-1.71835
1.75632	0.93779	-1.73654
1.77473	0.90294	-1.75267
1.79243	0.86778	-1.76699
1.80944	0.83231	-1.78016
1.82572	0.79656	-1.79276
1.84130	0.76055	-1.80520
1.85614	0.72429	-1.81762
1.87027	0.68780	-1.82978
1.88366	0.65111	-1.84105
1.89631	0.61423	-1.84994
1.90822	0.57719	-1.85626
1.91940	0.54001	-1.86134
1.92982	0.50271	-1.86584
1.93950	0.46532	-1.87022
1.94844	0.42788	-1.87436
1.95662	0.39044	-1.87567
1.96405	0.35291	-1.87230
1.97074	0.31554	-1.86168
1.97668	0.27849	-1.84475
1.98188	0.24198	-1.79862
1.98637	0.20765	-1.51979
1.99063	0.23698	2.89157
1.99595	0.29481	2.88826
2.00242	0.35250	2.87740
2.01004	0.40987	2.85719
2.01881	0.46672	2.82588
2.02871	0.52281	2.78046
2.03972	0.57785	2.72094
2.05181	0.63150	2.64078
2.06497	0.68329	2.53438
2.07913	0.73260	2.38955
2.09425	0.77843	2.17720
2.11023	0.81848	1.75748
2.12666	0.79693	-4.03404
2.14179	0.71671	-3.98512
2.15533	0.63741	-3.94127
2.16730	0.55897	-3.90253
2.17770	0.48129	-3.86350
2.18655	0.40433	-3.83155
2.19387	0.32801	-3.79891
2.19968	0.25229	-3.77164
2.20397	0.17709	-3.74437
2.20676	0.10238	-3.72442
2.20807	0.02811	-3.70248
2.20789	-0.04578	-3.68395
2.20624	-0.11930	-3.66787
2.20312	-0.19250	-3.65061

2.19854	-0.26540	-3.63890
2.19251	-0.33802	-3.62540
2.18502	-0.41040	-3.61248
2.17609	-0.48252	-3.60051
2.16572	-0.55441	-3.58719
2.15392	-0.62606	-3.57816
2.14068	-0.69747	-3.56227
2.12602	-0.76863	-3.55238
2.10994	-0.83951	-3.53651
2.09244	-0.91009	-3.52000
2.07354	-0.98033	-3.50199
2.05323	-1.05020	-3.48280
2.03153	-1.11963	-3.46015
2.00845	-1.18857	-3.43009
1.98399	-1.25695	-3.40448
1.95818	-1.32467	-3.36824
1.93101	-1.39165	-3.32972
1.90252	-1.45777	-3.28242
1.87271	-1.52289	-3.22951
1.84161	-1.58686	-3.16774
1.80924	-1.64952	-3.09595
1.77564	-1.71063	-3.01446
1.74083	-1.76995	-2.91510
1.70485	-1.82714	-2.80161
1.66776	-1.88179	-2.66025
1.62960	-1.93328	-2.48061
1.59046	-1.98052	-2.22516
1.55043	-2.02038	-1.60296
1.51008	-1.99879	2.26847
1.47055	-1.95453	2.15761
1.43188	-1.91243	2.05283
1.39404	-1.87241	1.95060
1.35697	-1.83439	1.85170
1.32065	-1.79832	1.75559
1.28503	-1.76414	1.66341
1.25007	-1.73176	1.57277
1.21575	-1.70114	1.48816
1.18201	-1.67221	1.40500
1.14885	-1.64492	1.32522
1.11621	-1.61919	1.24679
1.08407	-1.59500	1.17270
1.05240	-1.57227	1.10054
1.02117	-1.55096	1.03051
0.99035	-1.53103	0.96271
0.95992	-1.51244	0.89692
0.92984	-1.49516	0.83164
0.90010	-1.47917	0.76728
0.87067	-1.46447	0.70290
0.84152	-1.45107	0.63730
0.81262	-1.43899	0.56950
0.78395	-1.42831	0.49795
0.75547	-1.41911	0.42075
0.72717	-1.41153	0.33580
0.69900	-1.40574	0.24099
0.67093	-1.40196	0.13514
0.64291	-1.40041	0.01890
0.61490	-1.40124	-0.10317
0.58684	-1.40452	-0.22395
0.55870	-1.41015	-0.33758
0.53042	-1.41796	-0.44091
0.50197	-1.42772	-0.53369
0.47330	-1.43924	-0.61700
0.44439	-1.45234	-0.69196
0.41520	-1.46686	-0.75893

0.38571	-1.48265	-0.81924
0.35588	-1.49959	-0.87292
0.32572	-1.51754	-0.92116
0.29518	-1.53639	-0.96327
0.26425	-1.55604	-0.99941
0.23293	-1.57635	-1.03076
0.20120	-1.59723	-1.05626
0.16904	-1.61856	-1.07620
0.13645	-1.64024	-1.08983
0.10343	-1.66214	-1.09869
0.06997	-1.68414	-1.10136
0.03606	-1.70614	-1.09739
0.00172	-1.72799	-1.08658
-0.03306	-1.74956	-1.06891
-0.06826	-1.77071	-1.04464
-0.10388	-1.79129	-1.01215
-0.13991	-1.81114	-0.97056
-0.17632	-1.83007	-0.92044
-0.21310	-1.84789	-0.85999
-0.25023	-1.86438	-0.78795
-0.28767	-1.87931	-0.70303
-0.32539	-1.89240	-0.60318
-0.36335	-1.90333	-0.48685
-0.40150	-1.91174	-0.35015
-0.43980	-1.91719	-0.19071
-0.47817	-1.91921	-0.00741
-0.51654	-1.91737	0.19265
-0.55484	-1.91155	0.38449
-0.59298	-1.90229	0.53274
-0.63091	-1.89062	0.62599
-0.66859	-1.87749	0.68284
-0.70600	-1.86340	0.72405
-0.74313	-1.84855	0.76054
-0.77994	-1.83298	0.79624
-0.81644	-1.81671	0.83194
-0.85261	-1.79972	0.86736
-0.88842	-1.78202	0.90233
-0.92388	-1.76362	0.93702
-0.95896	-1.74453	0.97156
-0.99366	-1.72476	1.00593
-1.02795	-1.70431	1.03982
-1.06183	-1.68319	1.07285
-1.09527	-1.66140	1.10531
-1.12828	-1.63897	1.13756
-1.16083	-1.61590	1.16969
-1.19291	-1.59219	1.20139
-1.22451	-1.56786	1.23202
-1.25562	-1.54292	1.26192
-1.28622	-1.51738	1.29161
-1.31631	-1.49125	1.32122
-1.34587	-1.46454	1.35034
-1.37489	-1.43726	1.37815
-1.40336	-1.40942	1.40521
-1.43126	-1.38104	1.43217
-1.45859	-1.35213	1.45907
-1.48534	-1.32270	1.48513
-1.51150	-1.29275	1.50970
-1.53705	-1.26231	1.53381
-1.56199	-1.23139	1.55799
-1.58630	-1.20000	1.58189
-1.60999	-1.16815	1.60419
-1.63303	-1.13584	1.62545
-1.65542	-1.10311	1.64674
-1.67715	-1.06997	1.66804

-1.69821	-1.03642	1.68799
-1.71860	-1.00247	1.70644
-1.73831	-0.96815	1.72486
-1.75733	-0.93348	1.74346
-1.77565	-0.89844	1.76074
-1.79326	-0.86307	1.77637
-1.81017	-0.82737	1.79210
-1.82635	-0.79138	1.80806
-1.84182	-0.75508	1.82234
-1.85656	-0.71850	1.83529
-1.87056	-0.68166	1.84871
-1.88382	-0.64456	1.86205
-1.89634	-0.60721	1.87317
-1.90811	-0.56963	1.88401
-1.91912	-0.53184	1.89559
-1.92938	-0.49383	1.90584
-1.93887	-0.45562	1.91466
-1.94760	-0.41723	1.92439
-1.95556	-0.37866	1.93397
-1.96275	-0.33990	1.94147
-1.96916	-0.30098	1.94976
-1.97479	-0.26191	1.95873
-1.97963	-0.22267	1.96555
-1.98369	-0.18328	1.97293
-1.98696	-0.14375	1.98150
-1.98944	-0.10405	1.98797
-1.99112	-0.06421	1.99489
-1.99201	-0.02425	2.00314
-1.99209	0.01588	2.00915
-1.99137	0.05613	2.01581
-1.98985	0.09651	2.02308
-1.98751	0.13702	2.02874
-1.98436	0.17765	2.03435
-1.98040	0.21839	2.03747
-1.97563	0.25921	2.04258
-1.97004	0.30010	2.04602
-1.96362	0.34106	2.04823
-1.95639	0.38204	2.04931
-1.94834	0.42303	2.04879
-1.93947	0.46399	2.04647
-1.92978	0.50489	2.04231
-1.91928	0.54569	2.03619
-1.90796	0.58635	2.02808
-1.89582	0.62683	2.01807
-1.88289	0.66709	2.00602
-1.86914	0.70707	1.99164
-1.85460	0.74673	1.97481
-1.83928	0.78603	1.95549
-1.82317	0.82492	1.93377
-1.80628	0.86336	1.90985
-1.78863	0.90130	1.88404
-1.77023	0.93872	1.85671
-1.75109	0.97558	1.82824
-1.73121	1.01187	1.79899
-1.71062	1.04756	1.76929
-1.68932	1.08266	1.73935
-1.66732	1.11715	1.70939
-1.64463	1.15104	1.67955
-1.62128	1.18433	1.64993
-1.59727	1.21703	1.62053
-1.57260	1.24915	1.59130
-1.54730	1.28068	1.56217
-1.52138	1.31162	1.53302
-1.49484	1.34199	1.50374

-1.46770	1.37176	1.47422
-1.43998	1.40095	1.44439
-1.41167	1.42954	1.41419
-1.38280	1.45752	1.38358
-1.35337	1.48489	1.35259
-1.32341	1.51164	1.32129
-1.29291	1.53776	1.28973
-1.26190	1.56323	1.25781
-1.23039	1.58806	1.22544
-1.19838	1.61224	1.19252
-1.16590	1.63575	1.15901
-1.13296	1.65860	1.12493
-1.09956	1.68076	1.09044
-1.06573	1.70223	1.05585
-1.03148	1.72300	1.02110
-0.99682	1.74306	0.98587
-0.96176	1.76242	0.95000
-0.92632	1.78106	0.91361
-0.89052	1.79898	0.87717
-0.85437	1.81615	0.84072
-0.81788	1.83260	0.80370
-0.78107	1.84830	0.76606
-0.74395	1.86325	0.72846
-0.70655	1.87744	0.69084
-0.66886	1.89087	0.65255
-0.63092	1.90354	0.61405
-0.59273	1.91544	0.57573
-0.55430	1.92657	0.53676
-0.51567	1.93691	0.49781
-0.47683	1.94648	0.45877
-0.43781	1.95526	0.41928
-0.39863	1.96326	0.38002
-0.35929	1.97046	0.34027
-0.31981	1.97687	0.30075
-0.28022	1.98249	0.26086
-0.24052	1.98731	0.22104
-0.20073	1.99133	0.18116
-0.16087	1.99455	0.14114
-0.12096	1.99698	0.10112
-0.08100	1.99860	0.06112
-0.04102	1.99942	0.02111
-0.00103	1.99944	-0.01888
0.03896	1.99867	-0.05885
0.07891	1.99709	-0.09876
0.11883	1.99472	-0.13862
0.15870	1.99155	-0.17842
0.19849	1.98758	-0.21815
0.23820	1.98282	-0.25766
0.27780	1.97728	-0.29708
0.31728	1.97094	-0.33651
0.35663	1.96382	-0.37551
0.39583	1.95592	-0.41460
0.43486	1.94724	-0.45328
0.47371	1.93779	-0.49196
0.51237	1.92757	-0.53017
0.55081	1.91658	-0.56851
0.58903	1.90483	-0.60610
0.62700	1.89233	-0.64396
0.66472	1.87908	-0.68114
0.70216	1.86509	-0.71803
0.73931	1.85036	-0.75508
0.77617	1.83490	-0.79126
0.81270	1.81871	-0.82707
0.84891	1.80181	-0.86303

0.88477	1.78420	-0.89861
0.92027	1.76588	-0.93317
0.95540	1.74687	-0.96741
0.99014	1.72718	-1.00160
1.02449	1.70680	-1.03563
1.05841	1.68576	-1.06927
1.09191	1.66406	-1.10236
1.12497	1.64170	-1.13496
1.15758	1.61870	-1.16754
1.18971	1.59506	-1.20234
1.22137	1.57078	-1.23514
1.25254	1.54588	-1.25983
1.28321	1.52044	-1.29477
1.31335	1.49430	-1.31527
1.34297	1.46776	-1.34714
1.37206	1.44058	-1.37310
1.40059	1.41286	-1.40190
1.42857	1.38458	-1.42879
1.45597	1.35576	-1.45477
1.48280	1.32642	-1.47993
1.50903	1.29656	-1.50421
1.53465	1.26622	-1.52778
1.55967	1.23539	-1.55087
1.58407	1.20410	-1.57357
1.60783	1.17236	-1.59591
1.63096	1.14018	-1.61792
1.65344	1.10757	-1.63957
1.67526	1.07456	-1.66079
1.69642	1.04115	-1.68143
1.71690	1.00736	-1.70119
1.73671	0.97321	-1.71911
1.75583	0.93870	-1.73528
1.77425	0.90386	-1.75022
1.79198	0.86870	-1.76444
1.80900	0.83324	-1.77834
1.82531	0.79750	-1.79216
1.84090	0.76149	-1.80589
1.85577	0.72524	-1.81919
1.86991	0.68876	-1.83132
1.88332	0.65207	-1.84074
1.89599	0.61520	-1.84811
1.90792	0.57816	-1.85457
1.91911	0.54098	-1.86071
1.92956	0.50368	-1.86742