

## sample\_yalmip\_\*\*\*.m

```
1 % sample_yalmip_default.m
2 % last modified: 2023/05/15 by Masakatsu KAWATA
3
4 plant % アクロボットに対してシステム行列などを定義した M ファイルの実行
5 % -----
6 gamma = sdpvar(1,1); % 決定変数 gamma (ガンマ) : スカラ
7 X = sdpvar(n,n,'sy'); % 決定変数 X :  $n \times n$  の対称行列
8 Z = sdpvar(n,m,'f'); % 決定変数 Z :  $n \times m$  の長方形列
9 % -----
10 ep = 1e-5; % 十分小さな正数 <=== 加筆
11 % -----
12 LMI = []; % LMI の記述の初期化
13 % -----
14 AX = A*X + B2*Z';
15 CX = C1*X + D12*Z';
16 % -----
17 M1 = [ r*X      AX-c*X
        AX'-c*X  r*X ];
18 LMI = [LMI, M1 >= eps*eye(length(M1))]; %  $M1 \geq \text{eps} * I$  ( $> 0$ )
19 % -----
20 M2 = [ AX+AX'  B1      CX'
        B1'      -gamma*eye(q)  D11'
        CX      D11      -gamma*eye(p) ];
21 LMI = [LMI, M2 <= -eps*eye(length(M2))]; %  $M2 \leq -\text{eps} * I$  ( $< 0$ )
22 % -----
23 optimize(LMI,gamma) % 目的関数を  $E = \text{gamma}$  とした凸最適化問題を解く
24 % ・ソルバは標準のものを使用
25 % (MOSEK > SeDuMi > SDPT3 > LMILAB の優先順位)
26 % ・ソルバを指定するには ==> sample_yalmip_sedumi.m などを参照
27 % -----
28 gamma_opt = value(gamma) % 得られた gamma の最適解 gamma_opt
29 X_opt = value(X) % 得られた X の最適解 X_opt
30 Z_opt = value(Z) % 得られた Z の最適解 Z_opt
31 % -----
32 K_opt = Z_opt'*inv(X_opt) % コントローラゲイン K_opt
```

## 説明

M ファイル sample\_yalmip\_default.m を実行するには,

- LMI パーサ
  - YALMIP
- SDP ソルバ (以下の少なくとも 1 つ)
  - SeDuMi
  - SDPT3
  - MOSEK (商用ですが, アカデミックライセンスは無料)
  - Robust Control Toolbox (商用)

をインストールしている必要があります. インストール方法は,

<https://kawata.apps.kct.ac.jp/>

にある

- SDP ソルバと LMI パーサのインストール
  - SeDuMi, SDPT3 および YALMIP のインストール
  - MOSEK のインストール (アカデミックライセンス)

を参照してください.

この M ファイルは, 連立 LMI

$$M_1 := \begin{bmatrix} rX & A_X - cX \\ * & rX \end{bmatrix} \succ 0 \quad (1)$$

$$M_2 := \begin{bmatrix} A_X + A_X^\top & B_1 & * \\ * & -\gamma I & * \\ C_X & D_{11} & -\gamma I \end{bmatrix} \prec 0 \quad (2)$$

を満足する解

$$X = X^\top \succ 0, Z, \gamma > 0$$

が存在する範囲で線形目的関数  $E = \gamma > 0$  を最小化し (線形目的関数  $E = \gamma > 0$  を最小化する凸最適化問題を解き), 得られた解を用い, コントローラを

$$u(t) = Kx(t), K = Z^\top X^{-1} \quad (3)$$

のように決定します. ただし,

$$\begin{cases} A_X := AX + B_2 Z^\top \\ C_X := C_1 X + D_{12} Z^\top \end{cases}$$

です.

最近の YALMIP では, 正定 (負定) 条件ではなく半正定 (半負定) 条件で記述する必要があります. そのため, 十分小さな正数  $\varepsilon > 0$  を用いて, (1), (2) 式をそれぞれ次式のように書き換えます.

$$M_1 := \begin{bmatrix} rX & A_X - cX \\ * & rX \end{bmatrix} \succeq \varepsilon I (\succ 0) \quad (4)$$

$$M_2 := \begin{bmatrix} A_X + A_X^\top & B_1 & * \\ * & -\gamma I & * \\ C_X & D_{11} & -\gamma I \end{bmatrix} \preceq -\varepsilon I (\prec 0) \quad (5)$$

## 関数 `sdpvar`

YALMIP では, 関数 `sdpvar` により決定変数を定義します.

- $\gamma$ : スカラ
- $X = X^\top$ :  $n \times n$  の対称行列
- $Z$ :  $n \times m$  の長方形行列

```
6  gamma = sdpvar(1,1);
7  X      = sdpvar(n,n,'sy');
8  Z      = sdpvar(n,m,'f');
```

## 関数 `optimize`

YALMIP では, 関数 `optimize` により LMI で記述された凸可解問題や凸最適化問題を解くことができます. 解説記事を執筆した当時は関数 `solvesdp` が使用されていましたが, 最近のバージョンでは関数 `solvesdp` の代わりに関数 `optimize` を利用することが推奨されています.

目的関数を  $E = \gamma$  とした凸最適化問題

```
26  optimize(LMI,gamma)
```

M ファイル `sample_yalmip_default.m` ではソルバを指定していませんので, インストールされているソルバに応じて, 自動選択されます. SeDuMi をインストールすると, ソルバを特に指定しなければ, YALMIP で使用する標準のソルバは SeDuMi となります. これに加えて後述の MOSEK をインストールすると, YALMIP で使用する標準のソルバは MOSEK となります. ソルバの優先順位は

となります。

ソルバを指定する (どのソルバを使用するのかを明示する) には, `sample_yalmip_default.m` の 26~29 行目を以下のように変更します。

`sample_yalmip_sedumi.m` ..... ソルバ SeDuMi を使用

```
26 opt = sdpsettings; opt.solver = 'sedumi';      % ソルバとして SeDuMi を利用
27 optimize(LMI,gamma,opt)                      % 目的関数を E = gamma とした凸最適化問題を解く
28 %% もしくは上 2 行の代わりに
29 %% optimize(LMI,gamma,sdpsettings('solver','sedumi'))
```

`sample_yalmip_sdpt3.m` ..... ソルバ SDPT3 を使用

```
26 opt = sdpsettings; opt.solver = 'sdpt3';      % ソルバとして SDPT3 を利用
27 optimize(LMI,gamma,opt)                      % 目的関数を E = gamma とした凸最適化問題を解く
28 %% もしくは上 2 行の代わりに
29 %% optimize(LMI,gamma,sdpsettings('solver','sdpt3'))
```

`sample_yalmip_mosek.m` ..... ソルバ MOSEK を使用

```
26 opt = sdpsettings; opt.solver = 'mosek';      % ソルバとして MOSEK を利用
27 optimize(LMI,gamma,opt)                      % 目的関数を E = gamma とした凸最適化問題を解く
28 %% もしくは上 2 行の代わりに
29 %% optimize(LMI,gamma,sdpsettings('solver','mosek'))
```

`sample_yalmip_lmilab.m` ..... ソルバ LMILAB を使用

```
26 opt = sdpsettings; opt.solver = 'lmilab';     % ソルバとして LMILAB を利用
27 optimize(LMI,gamma,opt)                      % 目的関数を E = gamma とした凸最適化問題を解く
28 %% もしくは上 2 行の代わりに
29 %% optimize(LMI,gamma,sdpsettings('solver','lmilab'))
```

## 関数 value

関数 `optimize` により得られた解は, 関数 `value` により数値に変換することができます。解説記事を執筆した当時は関数 `double` が使用されていましたが, 最近のバージョンでは関数 `double` の代わりに関数 `value` を利用することが推奨されています。

```
31 gamma_opt = value(gamma)                    % 得られた gamma の最適解 gamma_opt
32 X_opt = value(X)                            % 得られた X の最適解 X_opt
33 Z_opt = value(Z)                            % 得られた Z の最適解 Z_opt
```

## 実行結果

使用するソルバの違いにより, 以下のような実行結果が得られます。

`sample_yalmip_sedumi.m`

```
>> sample_yalmip_sedumi
SeDuMi 1.21 by AdvOL, 2005-2008 and Jos F. Sturm, 1998-2003.
Alg = 2: xz-corrector, theta = 0.250, beta = 0.500
eqs m = 21, order n = 19, dim = 165, blocks = 3
nnz(A) = 207 + 0, nnz(ADA) = 441, nnz(L) = 231
it :      b*y      gap    delta  rate   t/tP*   t/tD*   feas cg cg  prec
0 :          1.42E+02 0.000
1 :  -1.37E+00 3.46E+01 0.000 0.2434 0.9000 0.9000   1.30 1 1 2.6E+01
2 :  -2.25E+00 1.04E+01 0.000 0.3013 0.9000 0.9000   0.42 1 1 1.1E+01
```

```

3 : -1.97E+00 2.68E+00 0.000 0.2571 0.9000 0.9000 0.66 1 1 3.4E+00
4 : -1.63E+00 7.22E-01 0.000 0.2697 0.9000 0.9000 0.58 1 1 1.2E+00
5 : -1.38E+00 1.98E-01 0.000 0.2747 0.9000 0.9000 0.46 1 1 4.6E-01
6 : -1.22E+00 5.61E-02 0.000 0.2826 0.9000 0.9000 0.46 1 1 1.8E-01
7 : -1.09E+00 1.49E-02 0.000 0.2652 0.9000 0.9000 0.36 1 1 7.2E-02
8 : -9.79E-01 3.77E-03 0.000 0.2537 0.9000 0.9000 0.26 1 1 3.0E-02
9 : -9.06E-01 9.90E-04 0.000 0.2624 0.9000 0.9000 0.24 1 1 1.3E-02
10 : -8.63E-01 2.98E-04 0.000 0.3010 0.9000 0.9000 0.30 1 1 5.7E-03
11 : -8.32E-01 9.02E-05 0.000 0.3026 0.9000 0.9000 0.36 1 1 2.5E-03
12 : -8.12E-01 3.23E-05 0.000 0.3583 0.9000 0.9000 0.41 1 1 1.3E-03
13 : -7.99E-01 1.21E-05 0.000 0.3731 0.9000 0.9000 0.50 1 1 6.1E-04
14 : -7.92E-01 5.88E-06 0.000 0.4880 0.9000 0.9000 0.49 1 1 3.8E-04
15 : -7.86E-01 2.35E-06 0.000 0.4003 0.9000 0.9000 0.64 1 1 1.8E-04
16 : -7.82E-01 1.18E-06 0.000 0.4991 0.9000 0.9000 0.54 1 1 1.2E-04
17 : -7.79E-01 4.65E-07 0.000 0.3957 0.9000 0.9000 0.67 1 1 5.3E-05
18 : -7.77E-01 2.22E-07 0.000 0.4771 0.9000 0.9000 0.55 1 1 3.3E-05
19 : -7.76E-01 8.16E-08 0.000 0.3679 0.9000 0.9000 0.69 1 1 1.4E-05
20 : -7.75E-01 4.32E-08 0.000 0.5298 0.9000 0.9000 0.70 1 2 8.1E-06
21 : -7.75E-01 1.37E-09 0.000 0.0317 0.9900 0.9900 0.97 1 1 2.6E-07
22 : -7.75E-01 1.20E-11 0.000 0.0087 0.9990 0.9990 0.99 2 2 2.3E-09
23 : -7.75E-01 3.39E-12 0.000 0.2830 0.9000 0.9000 1.00 2 2 6.4E-10

```

```

iter seconds digits      c*x          b*y
23      0.0   Inf -7.7494084475e-01 -7.7494083882e-01
|Ax-b| = 9.1e-10, [Ay-c]_+ = 0.0E+00, |x|= 1.1e+00, |y|= 5.0e+02

```

Detailed timing (sec)

```

Pre      IPM      Post
0.000E+00 0.000E+00 0.000E+00
Max-norms: ||b||=1, ||c|| = 2,
Cholesky |add|=0, |skip| = 0, ||L.L|| = 517.817.
ans =

```

フィールドをもつ struct:

```

    yalmipversion: '20210331'
    matlabversion: '9.14.0.2206163 (R2023a)'
    yalmiptime: 0.0454
    solvertime: 0.0236
    info: 'Successfully solved (SeDuMi-1.3)'
    problem: 0
gamma_opt =
    0.7749
X_opt =
    66.3097    5.1041 -166.1867 -23.0468    16.0398
    5.1041    1.5470  -8.2857  -5.0882    1.5097
 -166.1867  -8.2857  456.2532  57.9318 -34.8458
 -23.0468  -5.0882  57.9318  80.5338  -4.5469
    16.0398    1.5097 -34.8458  -4.5469    4.8827
Z_opt =
   -6.2690
   -2.5465
   14.4106
    4.0314
   -1.2958
K_opt =
    6.5233   -7.7435    1.7718   -0.2351   -6.8743

```

sample\_yalmip\_sdpt3.m

```
>> sample_yalmip_sdpt3
```

```

num. of constraints = 21
dim. of sdp var = 18, num. of sdp blk = 2
*****

```

```

SDPT3: Infeasible path-following algorithms
*****
version  predcorr  gam  expon  scale_data
HKM      1      0.000  1      0

it  pstep  dstep  pinfeas  dinfeas  gap      prim-obj      dual-obj      cputime
-----
0|0.000|0.000|5.4e+02|9.5e+01|1.4e+04|-6.217249e-14  0.000000e+00| 0:0:00| chol  1  1
1|0.850|0.925|8.1e+01|7.3e+00|1.9e+03|-2.856643e-01 -5.375930e+01| 0:0:00| chol  1  1
2|0.673|0.894|2.6e+01|7.8e-01|6.9e+02|-5.030134e-01 -5.958118e+01| 0:0:00| chol  1  1
3|0.628|0.887|9.8e+00|8.9e-02|2.9e+02|-2.573922e-01 -3.891857e+01| 0:0:00| chol  1  1
4|0.650|1.000|3.4e+00|1.0e-04|1.2e+02|-2.258608e-01 -1.644511e+01| 0:0:00| chol  1  1
5|0.906|0.906|3.2e-01|1.8e-05|1.4e+01|-3.275003e-01 -5.542629e+00| 0:0:00| chol  1  1
6|0.531|1.000|1.5e-01|1.0e-06|8.2e+00|-7.029058e-01 -3.017501e+00| 0:0:00| chol  1  1
7|0.845|0.977|2.3e-02|1.2e-07|1.7e+00|-6.227445e-01 -1.327250e+00| 0:0:00| chol  1  1
8|0.653|1.000|8.1e-03|4.7e-03|9.1e-01|-6.599637e-01 -1.073696e+00| 0:0:00| chol  1  1
9|0.782|1.000|1.8e-03|1.6e-03|3.4e-01|-7.194625e-01 -9.028305e-01| 0:0:00| chol  1  1
10|0.679|1.000|5.7e-04|3.5e-04|1.3e-01|-7.527889e-01 -8.135413e-01| 0:0:00| chol  1  1
11|0.588|0.689|2.3e-04|2.2e-04|8.1e-02|-7.549313e-01 -7.995279e-01| 0:0:00| chol  1  1
12|0.462|1.000|1.3e-04|4.7e-05|5.6e-02|-7.574675e-01 -7.904237e-01| 0:0:00| chol  1  2
13|0.640|0.778|4.5e-05|3.5e-05|3.5e-02|-7.611090e-01 -7.841262e-01| 0:0:00| chol  2  2
14|0.682|1.000|1.4e-05|9.0e-06|1.9e-02|-7.655458e-01 -7.801834e-01| 0:0:00| chol  2  2
15|1.000|0.779|6.8e-12|4.9e-06|7.4e-03|-7.698532e-01 -7.772960e-01| 0:0:00| chol  1  2
16|0.979|0.979|2.9e-13|1.0e-07|1.6e-04|-7.748359e-01 -7.749926e-01| 0:0:00| chol  2  2
17|0.976|0.976|2.1e-12|2.4e-09|3.8e-06|-7.749383e-01 -7.749421e-01| 0:0:00| chol  2  1
18|1.000|1.000|1.9e-11|1.0e-12|4.5e-07|-7.749405e-01 -7.749410e-01| 0:0:00| chol  2  2
19|1.000|1.000|2.7e-12|1.5e-12|8.9e-09|-7.749408e-01 -7.749408e-01| 0:0:00|
stop: max(relative gap, infeasibilities) < 1.00e-07
-----
number of iterations   = 19
primal objective value = -7.74940791e-01
dual  objective value = -7.74940799e-01
gap := trace(XZ)       = 8.88e-09
relative gap           = 3.48e-09
actual relative gap    = 3.31e-09
rel. primal infeas     = 2.71e-12
rel. dual  infeas      = 1.53e-12
norm(X), norm(y), norm(Z) = 1.1e+00, 5.0e+02, 7.1e+03
norm(A), norm(b), norm(C) = 1.9e+02, 2.0e+00, 2.4e+00
Total CPU time (secs)   = 0.15
CPU time per iteration = 0.01
termination code        = 0
DIMACS: 2.7e-12  0.0e+00  1.8e-12  0.0e+00  3.3e-09  3.5e-09
-----
ans =
フィールドをもつ struct:

yalmipversion: '20210331'
matlabversion: '9.14.0.2206163 (R2023a)'
yalmiptime: 0.0484
solvertime: 0.1876
info: 'Successfully solved (SDPT3-4)'
problem: 0
gamma_opt =
0.7749
X_opt =
66.3096    5.1043 -166.1865 -23.0505    16.0398
5.1043    1.5470  -8.2860  -5.0885    1.5097
-166.1865 -8.2860  456.2524  57.9411 -34.8457
-23.0505  -5.0885   57.9411  80.5351  -4.5477
16.0398    1.5097 -34.8457  -4.5477    4.8827
Z_opt =
-6.2692
-2.5465

```

```

14.4110
4.0317
-1.2958
K_opt =
6.5233 -7.7435 1.7719 -0.2351 -6.8743

```

```
sample_yalmip_mosek.m
```

```

>> sample_yalmip_mosek

MOSEK Version 10.0.43 (Build date: 2023-5-1 11:48:31)
Copyright (c) MOSEK ApS, Denmark WWW: mosek.com
Platform: Windows/64-X86

Problem
  Name           :
  Objective sense : minimize
  Type           : CONIC (conic optimization problem)
  Constraints     : 21
  Affine conic cons. : 0
  Disjunctive cons. : 0
  Cones          : 0
  Scalar variables : 0
  Matrix variables : 2
  Integer variables : 0

Optimizer started.
Presolve started.
Linear dependency checker started.
Linear dependency checker terminated.
Eliminator started.
Freed constraints in eliminator : 0
Eliminator terminated.
Eliminator - tries          : 1           time           : 0.00
Lin. dep. - tries          : 1           time           : 0.00
Lin. dep. - number         : 0

Presolve terminated. Time: 0.00

Problem
  Name           :
  Objective sense : minimize
  Type           : CONIC (conic optimization problem)
  Constraints     : 21
  Affine conic cons. : 0
  Disjunctive cons. : 0
  Cones          : 0
  Scalar variables : 0
  Matrix variables : 2
  Integer variables : 0

Optimizer - threads          : 8
Optimizer - solved problem  : the primal
Optimizer - Constraints     : 21
Optimizer - Cones          : 0
Optimizer - Scalar variables : 0           conic           : 0
Optimizer - Semi-definite variables: 2       scalarized        : 91
Factor - setup time         : 0.00         dense det. time   : 0.00
Factor - ML order time      : 0.00         GP order time     : 0.00
Factor - nonzeros before factor : 231       after factor      : 231
Factor - dense dim.         : 0           flops            : 2.48e+04
ITE PFEAS   DFEAS   GFEAS   PRSTATUS   POBJ          DOBJ          MU          TIME
0   2.0e+00  1.0e+00  1.0e+00  0.00e+00  0.000000000e+00  0.000000000e+00  1.0e+00  0.00
1   4.2e-01  2.1e-01  1.9e-01  2.00e-01  -1.568542351e+00 -1.138163486e+00  2.1e-01  0.02
2   1.2e-01  6.0e-02  5.2e-02  -5.10e-02 -2.626770870e+00 -2.086534078e+00  6.0e-02  0.02
3   3.0e-02  1.5e-02  7.1e-03  5.39e-01  -2.084223366e+00 -1.911821928e+00  1.5e-02  0.02

```

```

4  6.3e-03  3.2e-03  1.1e-03  4.79e-01  -1.710555321e+00  -1.609065503e+00  3.2e-03  0.02
5  1.9e-03  9.7e-04  2.6e-04  4.29e-01  -1.440633713e+00  -1.375235808e+00  9.7e-04  0.02
6  6.8e-04  3.4e-04  6.9e-05  5.70e-01  -1.295059860e+00  -1.257936393e+00  3.4e-04  0.02
7  1.6e-04  8.0e-05  1.4e-05  2.84e-01  -1.105295531e+00  -1.074649634e+00  8.0e-05  0.02
8  3.8e-05  1.9e-05  2.6e-06  4.08e-01  -9.962072623e-01  -9.784716529e-01  1.9e-05  0.02
9  9.9e-06  5.0e-06  5.7e-07  2.83e-01  -9.203861813e-01  -9.073783319e-01  5.0e-06  0.02
10 3.2e-06  1.6e-06  1.4e-07  4.51e-01  -8.774005888e-01  -8.697274998e-01  1.6e-06  0.02
11 1.2e-06  6.0e-07  5.0e-08  2.30e-01  -8.430006803e-01  -8.359507438e-01  6.0e-07  0.02
12 3.0e-07  1.5e-07  8.3e-09  5.72e-01  -8.173585343e-01  -8.143556690e-01  1.5e-07  0.02
13 1.0e-07  5.0e-08  2.5e-09  3.44e-01  -7.989584961e-01  -7.965537348e-01  5.0e-08  0.02
14 3.2e-08  1.6e-08  5.3e-10  6.30e-01  -7.895683640e-01  -7.884773646e-01  1.6e-08  0.02
15 1.6e-08  7.8e-09  2.5e-10  4.37e-01  -7.838424341e-01  -7.828627688e-01  7.8e-09  0.02
16 4.8e-09  2.4e-09  4.7e-11  7.46e-01  -7.801240745e-01  -7.797477083e-01  2.4e-09  0.02
17 2.1e-09  1.1e-09  1.9e-11  4.60e-01  -7.773050811e-01  -7.769677644e-01  1.1e-09  0.02
18 5.5e-10  2.7e-10  2.9e-12  7.73e-01  -7.757599923e-01  -7.756478269e-01  2.7e-10  0.02
19 7.2e-11  3.8e-11  9.9e-14  8.14e-01  -7.750924328e-01  -7.750847322e-01  3.6e-11  0.02
20 2.6e-12  1.6e-11  7.3e-16  9.56e-01  -7.749461240e-01  -7.749458159e-01  1.3e-12  0.02
21 4.6e-14  3.1e-10  2.0e-18  9.99e-01  -7.749408779e-01  -7.749408720e-01  2.5e-14  0.02
Optimizer terminated. Time: 0.02

```

#### Interior-point solution summary

Problem status : PRIMAL\_AND\_DUAL\_FEASIBLE

Solution status : OPTIMAL

Primal. obj: -7.7494087789e-01 nrm: 1e+00 Viol. con: 1e-09 barvar: 0e+00

Dual. obj: -7.7494087196e-01 nrm: 4e+03 Viol. con: 0e+00 barvar: 4e-12

#### Optimizer summary

```

Optimizer          -               time: 0.02
  Interior-point    - iterations : 21   time: 0.02
    Basis identification -         time: 0.00
      Primal        - iterations : 0    time: 0.00
      Dual          - iterations : 0    time: 0.00
      Clean primal   - iterations : 0    time: 0.00
      Clean dual     - iterations : 0    time: 0.00
    Simplex         -               time: 0.00
      Primal simplex - iterations : 0    time: 0.00
      Dual simplex   - iterations : 0    time: 0.00
    Mixed integer    - relaxations: 0    time: 0.00

```

ans =

フィールドをもつ struct:

```

yalmipversion: '20210331'
matlabversion: '9.14.0.2206163 (R2023a)'
yalmiptime: 0.0475
solvertime: 0.0155
info: 'Successfully solved (MOSEK)'
problem: 0

```

gamma\_opt =

0.7749

X\_opt =

```

66.3091  5.1041 -166.1852 -23.0470  16.0397
 5.1041  1.5470  -8.2857  -5.0882   1.5097
-166.1852 -8.2857 456.2491 57.9327 -34.8455
-23.0470 -5.0882 57.9327 80.5318 -4.5469
16.0397  1.5097 -34.8455 -4.5469  4.8826

```

Z\_opt =

```

-6.2688
-2.5464
14.4106
 4.0311
-1.2957

```

K\_opt =

```

6.5233 -7.7434  1.7718 -0.2351 -6.8743

```

```

>> sample_yalmip_lmilab

Solver for linear objective minimization under LMI constraints

Iterations   :   Best objective value so far

  1
  2
  3          5.437626
  4          2.514236
  5          2.041024
  6          2.041024
  7          1.486270
  8          1.267833
  9          1.267833
 10          1.043977
 11          1.043977
 12          1.043977
 13          0.990801
 14          0.990801
 15          0.990801
 16          0.990801
 17          0.891910
 18          0.891910
***          new lower bound:    0.435641
 19          0.821455
***          new lower bound:    0.559121
 20          0.821455
***          new lower bound:    0.627175
 21          0.786921
***          new lower bound:    0.681904
 22          0.783046
***          new lower bound:    0.756416
 23          0.777802
***          new lower bound:    0.759309
 24          0.777404
***          new lower bound:    0.764459
 25          0.776824
***          new lower bound:    0.768248
 26          0.776399
***          new lower bound:    0.770428
 27          0.775928
***          new lower bound:    0.771885
 28          0.775705
***          new lower bound:    0.772859
 29          0.775558
***          new lower bound:    0.773515
 30          0.775400
***          new lower bound:    0.773959
 31          0.775400
***          new lower bound:    0.774261
 32          0.775267
***          new lower bound:    0.774827

Result: feasible solution of required accuracy
       best objective value:    0.775267
       guaranteed absolute accuracy: 4.40e-04
       f-radius saturation: 0.000% of R = 1.00e+09

#####
You are using LMILAB. Please don't use LMILAB with YALMIP

```



```

https://yalmip.github.io/solver/lmilab/

Install a better SDP solver
https://yalmip.github.io/allsolvers/

To get rid of this message, edit calllmilab.m
(but don't expect support when things do not work,
YALMIP + LMILAB => No support)
#####
ans =
    フィールドをもつ struct:

    yalmipversion: '20210331'
    matlabversion: '9.14.0.2206163 (R2023a)'
    yalmiptime: 0.0480
    solvertime: 0.0600
    info: 'Successfully solved (LMILAB)'
    problem: 0
gamma_opt =
    0.7753
X_opt =
    65.2507    5.0400 -163.3688   -22.6920    15.8043
     5.0400     1.5422     -8.1157     -5.0673     1.4954
   -163.3688    -8.1157    448.7471    56.9701   -34.2203
   -22.6920    -5.0673    56.9701    80.3253    -4.4693
    15.8043     1.4954   -34.2203    -4.4693     4.8304
Z_opt =
   -6.1621
   -2.5363
   14.1251
    3.9965
   -1.2723
K_opt =
    6.5131   -7.7392    1.7693   -0.2351   -6.8600

```