MATLAB LAB 15 | مختبر MATLAB 15

Multi-Agent Energy Management

إدارة الطاقة متعددة الوكلاء

Consensus, communication topology, convergence, and resilient coordination

الإجماع وبنية الاتصال والتقارب والتنسيق المرن

🎯 Objectives

- Model agents and communication links.
- Implement average consensus in MATLAB.
- Visualize convergence of all agents.
- Study the effect of topology and step size.
- Simulate a communication-link failure.
- Extend consensus to distributed battery-power coordination.

🎯 الأهداف

- نمذجة الوكلاء وروابط الاتصال.
- تنفيذ إجماع المتوسط في MATLAB.
- إظهار تقارب حالات جميع الوكلاء.
- دراسة تأثير بنية الاتصال وخطوة التحديث.
- محاكاة انقطاع رابط اتصال.
- توسيع الخوارزمية لتنسيق قدرة البطاريات.

1. Mathematical Model

$$x(k+1) = Wx(k)$$

For average consensus, W should be compatible with the graph, nonnegative, and preferably doubly stochastic.

$$\sum_j w_{ij} = 1, \qquad \sum_i w_{ij} = 1$$

1. النموذج الرياضي

تُحدّث حالات الوكلاء بضرب متجه الحالات في مصفوفة الأوزان. وللوصول إلى متوسط القيم الابتدائية ينبغي أن تكون المصفوفة متوافقة مع شبكة الاتصال وتحافظ على المجموع.

2. Complete MATLAB Program

```
clear; clc; close all;

%% Initial agent proposals (kW)
x0 = [10; 20; 30];
n  = numel(x0);
K  = 30;

%% Communication-weight matrix
W = [0.50 0.25 0.25;
     0.25 0.50 0.25;
     0.25 0.25 0.50];

%% Validation
rowError = max(abs(sum(W,2)-1));
colError = max(abs(sum(W,1)-1));
assert(rowError < 1e-12,'Rows of W must sum to one.');
assert(colError < 1e-12,'Columns of W must sum to one.');

%% Consensus simulation
X = zeros(n,K+1);
X(:,1) = x0;
for k = 1:K
    X(:,k+1) = W*X(:,k);
end

%% Results
xAverage = mean(x0);
fprintf('Initial average = %.4f kW\n',xAverage);
fprintf('Final states:\n');
disp(X(:,end));

%% Plot convergence
figure;
plot(0:K,X','LineWidth',1.6);
yline(xAverage,'--','Average');
grid on;
xlabel('Iteration k');
ylabel('Agent proposal (kW)');
title('Average Consensus of Three Energy Agents');
legend('Agent 1','Agent 2','Agent 3','Location','best');

%% Consensus error
errorNorm = vecnorm(X-xAverage,2,1);
figure;
semilogy(0:K,errorNorm,'LineWidth',1.6);
```

```
grid on;
xlabel('Iteration k');
ylabel('||x(k)-x_{avg}1||_2');
title('Consensus Error');
```

2. البرنامج الكامل

يحفظ البرنامج جميع الحالات عبر الزمن، ويتحقق من صحة مصفوفة الأوزان، ثم يرسم تقارب الوكلاء وخطأ الإجماع بمقياس لوغاريتمي.

3. Expected Result

The initial average is 20 kW. Therefore, all three agents should converge to:

$$x(\infty) = [20\ 20\ 20]^T\ \mathrm{kW}$$

> The average is preserved at every iteration because W is doubly stochastic.

3. النتيجة المتوقعة

متوسط القيم الابتدائية يساوي 20 كيلوواط، ولذلك تتقارب حالات الوكلاء الثلاثة نحو هذه القيمة.

4. Experiment A: Ring Topology

```
Wring = [0.50 0.50 0.00;
         0.00 0.50 0.50;
         0.50 0.00 0.50];

Xring = zeros(n,K+1);
Xring(:,1) = x0;
for k = 1:K
    Xring(:,k+1) = Wring*Xring(:,k);
end

figure;
plot(0:K,Xring','LineWidth',1.6);
grid on;
xlabel('Iteration k'); ylabel('State');
title('Consensus with Ring Communication');
```

Compare its convergence rate with the fully connected case.

4. التجربة A: بنية الحلقة

استبدل مصفوفة الاتصال ببنية حلقية وقارن عدد التكرارات اللازمة للوصول إلى الإجماع.

5. Experiment B: Link Failure

```
Wfailed = [0.70 0.30 0.00;
           0.30 0.40 0.30;
           0.00 0.30 0.70];

Xf = zeros(n,K+1);
Xf(:,1) = x0;
for k = 1:K
    if k == 10
        % Disconnect agents 2 and 3, then renormalize rows
        Wfailed(2,3) = 0;
        Wfailed(3,2) = 0;
        Wfailed = Wfailed./sum(Wfailed,2);
    end
    Xf(:,k+1) = Wfailed*Xf(:,k);
end

figure;
plot(0:K,Xf','LineWidth',1.6);
xline(10,'--','Link failure');
grid on;
xlabel('Iteration k'); ylabel('State');
title('Consensus under a Communication Failure');
```

After row normalization, consensus may still occur, but the limiting value may no longer equal the original average if W is not doubly stochastic.

5. التجربة **B**: انقطاع رابط

اقطع رابطًا بعد التكرار العاشر. لاحظ أن النظام قد يستمر في التقارب، لكن القيمة النهائية قد لا تبقى مساوية للمتوسط الأصلي.

6. Distributed Battery-Power Coordination

Assume each agent represents a battery with a preferred power command and physical limits.

```
Ppref = [15; -5; 35];
Pmin  = [-20; -10;  0];
Pmax  = [ 30;  25; 40];
P = Ppref;
Phist = zeros(n,K+1);
Phist(:,1) = P;

for k = 1:K
    P = W*P;
    P = min(max(P,Pmin),Pmax); % projection onto limits
    Phist(:,k+1) = P;
end

figure;
plot(0:K,Phist','LineWidth',1.6);
grid on;
xlabel('Iteration k'); ylabel('Battery power (kW)');
title('Consensus with Battery Power Limits');
```

> Simple projection can disturb exact average preservation. Constrained distributed optimization is required for rigorous dispatch with unequal limits and costs.

6. تنسيق قدرة البطاريات

يمثل كل وكيل بطارية ذات قدرة مفضلة وحدود دنيا وعليا. تُسقط القيم بعد كل تحديث ضمن الحدود الفيزيائية، لكن ذلك قد يغير المتوسط، ولذلك يحتاج التوزيع الاقتصادي الدقيق إلى تحسين موزع مقيد.

7. Performance Indicators

```
tol = 1e-3;
err = vecnorm(X-mean(x0),2,1);
kConv = find(err < tol,1,'first')-1;

fprintf('Convergence iteration = %d\n',kConv);
fprintf('Final consensus error = %.3e\n',err(end));
```

- Convergence iteration.
- Final consensus error.
- Communication messages.
- Sensitivity to topology changes.

7. مؤشرات الأداء

قيّم عدد تكرارات التقارب والخطأ النهائي وعدد الرسائل وحساسية الخوارزمية لتغير شبكة الاتصال.

8. Tasks

1. Increase the number of agents to 10.
2. Generate a connected random graph and construct W.
3. Compare complete, ring, and line topologies.
4. Add random packet loss with probability 0.1.
5. Investigate a malicious agent that reports a false value.
6. Design a robust rule using median neighbor information.
7. Replace identical agents with quadratic cost functions.

8. المهام

1. ارفع عدد الوكلاء إلى 10.
2. أنشئ رسم اتصال عشوائيًا مترابطًا.

3. قارن البنية الكاملة والحلقية والخطية.
4. أضف فقدان حزم عشوائيًا باحتمال 0.1.
5. حاكي وكيلًا خبيثًا يرسل قيمة خاطئة.
6. استخدم وسيط قيم الجيران لزيادة المتانة.
7. أضف دوال تكلفة تربيعية مختلفة.

9. Mini Project

Develop a distributed controller for three interconnected microgrids. Each microgrid contains PV generation, a battery, and a load. The agents must exchange only neighbor information and coordinate battery power to reduce power imbalance while respecting SOC and power limits.

9. المشروع المصغر

طوّر متحكمًا موزعًا لثلاث شبكات مصغرة مترابطة، تحتوي كل منها على توليد شمسي وبطارية وحمل. يجب تنسيق قدرة البطاريات باستخدام معلومات الجيران فقط مع احترام حدود القدرة وحالة الشحن.

References | المراجع

المراجع العامة المستخدمة في هذا المقرر

[1] A. Gabash, *Flexible Optimal Operations of Energy Supply Networks with Renewable Energy Generation and Battery Storage*. Saarbrücken, Germany: Südwestdeutscher Verlag für Hochschulschriften, 2014.

[2] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, 4th Global ed. Harlow, U.K.: Pearson Education Limited, 2022.

[3] A. Gabash, “Energy Market Transition and Climate Change: A Review of TSOs-DSOs C+++ Framework from 1800 to Present,” *Energies*, vol. 16, no. 17, Art. no. 6139, 2023, doi: 10.3390/en16176139.

[4] A. Gabash, *AI Applications in Electrical Power Systems*, Version 1.0, 2026. [Online]. Available: https://aoussgabash.com

Publication Information | معلومات النشر

Document	Laboratory 15 · Multi-Agent Energy Management
Course	AI Applications in Electrical Power Systems
Author	Dr.-Ing. Aouss Gabash
Version	1.0
Publication year	2026
Official website	https://aoussgabash.com
Citation style	IEEE

Recommended citation:
Gabash, A. (2026). Multi-Agent Energy Management. AI Applications in Electrical Power Systems, Laboratory 15, Version 1.0. https://aoussgabash.com

المرجع المقترح:

أوس غباش، 2026، مخبر 15، تطبيقات الذكاء الاصطناعي في أنظمة الطاقة الكهربائية، الإصدار 1.0، https://aoussgabash.com

© 2026 Dr.-Ing. Aouss Gabash. Educational use with attribution to the author and official website.