

Adaptive Control

التحكم التكيفي

قسم هندسة التحكم والأتمتة، السنة الخامسة
كلية الهندسة الكهربائية والإلكترونية - جامعة حلب

التحكم التكيفي - المحاضرة الأولى

Process	System	Plant	جملة التحكم	النظام	العملية
Parameters			المعلومات	المعاملات	البارامترات
Mathematical model	Model			الموديل	النموذج الرياضي
Feedback				التغذية العكسية	التغذية الراجعة
Estimator					مقدّر

- إن معظم أساليب التحكم الموثوقة تعتمد على النماذج. فنحن نبدأ غالباً بنموذج رياضي يعبر عن العملية (النظام أو جملة التحكم) في مجال تشغيل محدد.
- قد يكون النموذج دقيقاً أو غير دقيق في التقاط التأثيرات المهمة وغيرها من التأثيرات في ديناميكيات العملية.
- من أجل التغلب على أوجه القصور المحتملة في النمذجة، نسعى إلى إيجاد حل قوي، مصمم على أساس النموذج، ولكنه قادر على التحكم في العملية الحقيقية، وليس النموذج فقط.
- ما نريده هو متحكم يتغير أدائه بشكل سلس في وجود عدم اليقين في بارامترات النموذج أو تغييرات غير معروفة في هذه البارامترات وهذه الخاصية مرغوبة للغاية، لأنها تصبح الضمان الوحيد بأن المتحكم لن يفشل في تحقيق الهدف فجأة، إذا واجه النظام أحداثاً غير مسبقة أثناء التشغيل.

What is Adaptive Control?

ماهو التحكم التكيفي

في اللغة، "أن تتكيف" تعني تغيير السلوك لموائمة متطلبات جديدة.

المتحكم التكيفي هو المتحكم الذي يستطيع تغيير سلوكه (استجابته) بناء على تغيرات مجهولة في ديناميك العملية التي يتم التحكم بها.

عملياً

المتحكم التكيفي هو متحكم مع بارامترات قابلة للضبط وآلية خاصة بضبط هذه البارامترات

كان تصميم الطيار الآلي للطائرات عالية الأداء أحد الدوافع الأساسية للبحث النشط في مجال التحكم التكيفي في أوائل الخمسينيات. تعمل الطائرات على نطاق واسع من السرعات والارتفاعات، وديناميكياتها غير خطية ومتغيرة مع الزمن. بالنسبة لنقطة تشغيل معينة، محددة بسرعة الطائرة والارتفاع، يمكن تقريب ديناميكيات الطائرة المعقدة من خلال نموذج خطي. مثلاً بالنسبة لنقطة تشغيل i ، يكون نموذج الطائرة الخطي على الشكل التالي:

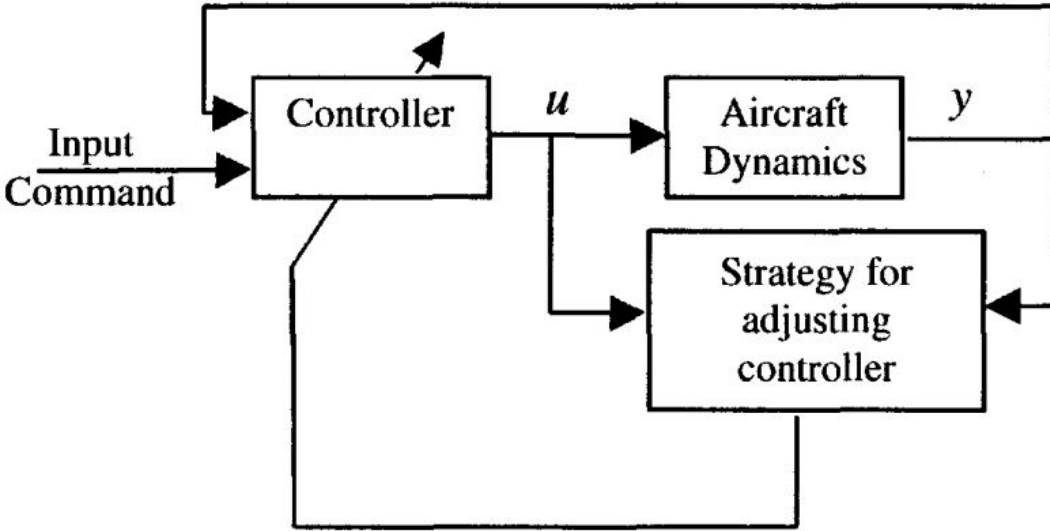
$$\begin{aligned}\dot{x} &= A_i x + B_i u, & x(0) &= x_0 \\ y &= C_i^\top x + D_i u\end{aligned}$$

حيث أن A_i, B_i, C_i, D_i تتعلق بالظروف عند نقطة التشغيل i . وإن تغير شروط التشغيل يؤدي إلى تغيير قيم هذه المصفوفات

- بينما المتحكمات الخطية ذات الربح الثابت تعمل بشكل جيد في مجال عمل واحد ولكن ليس على كامل مجال العمل، كان هناك حاجة لمتحكمات تعمل على مجال واسع لشروط التشغيل.
- نظرًا لأن استجابة خرج العملية تحمل معلومات حول حالتها بالإضافة إلى بارامترات النظام فإنه من حيث المبدأ، يمكن لمتحكم التغذية الراجعة أن يكون قادرًا على التعرف على تغييرات البارامترات عن طريق معالجة إشارة الخرج وإشارة التحكم.

Motivations

الدوافع وراء التحكم التكيفي - استمرار



أدت هذه الفكرة إلى إنشاء بنية تحكم في التغذية الراجعة تستند إليها عملية التحكم التكيفي. وتتكون فيها بنية وحدة التحكم من حلقة تغذية عكسية وحلقة لضبط بارامترات المتحكم.

يوجد مخططات مختلفة للمتحكم التكيفي وإن طريقة تغيير مكاسب وحدة التحكم استجابة للتغيرات في ديناميكيات العملية والاضطرابات تميز كل مخطط عن الآخر.

What is Adaptive Control?

ماهو التحكم التكيفي

هو مزيج من عملية تقدير البارامترات مع عملية تصميم قانون التحكم من أجل التحكم في العمليات التي تكون معاملاتها غير معروفة تمامًا و/أو يمكن أن تتغير بمرور الوقت بطريقة غير متوقعة. يؤدي اختيار مقدر المعاملات، واختيار قانون التحكم، والطريقة التي يتم بها الجمع بينهما إلى أنواع مختلفة من مخططات التحكم التكيفي.

كما أن عملية التحكم تولد قانون يدعى قانون التحكم كذلك إن عملية تقدير البارامترات يشار إليها بقانون التكيف حيث أنه يوجد قانون تكيف خاص لتقدير كل معلمة.

التصنيفات العامة لمخططات التحكم التكمي

التحكم التكمي القائم على تقدير البارامترات

تتميز مخططات التحكم التكمي القائمة على تقدير البارامترات بالجمع بين عملية تقدير المعلمات، والذي يوفر تقديرات للمعلمات غير المعروفة في كل لحظة من الزمن، مع قانون التحكم.

التحكم التكمي بدون تقدير البارامترات

- في هذه الفئة من المخططات، يتم استبدال مقدار المعلمات بطرق البحث والمقارنة لاختيار معلمات وحدة التحكم من مجموعة من المعلمات المحتملة.
- أو تتضمن التبديل بين وحدات تحكم ثابتة مختلفة، على افتراض أن واحدة على الأقل تعمل على استقرار النظام.

التحكم التكميفي القائم على تقدير البارامترات

إن الطريقة التي يتم بها دمج القانون التكميفي مع قانون التحكم تؤدي إلى نهجين مختلفين.

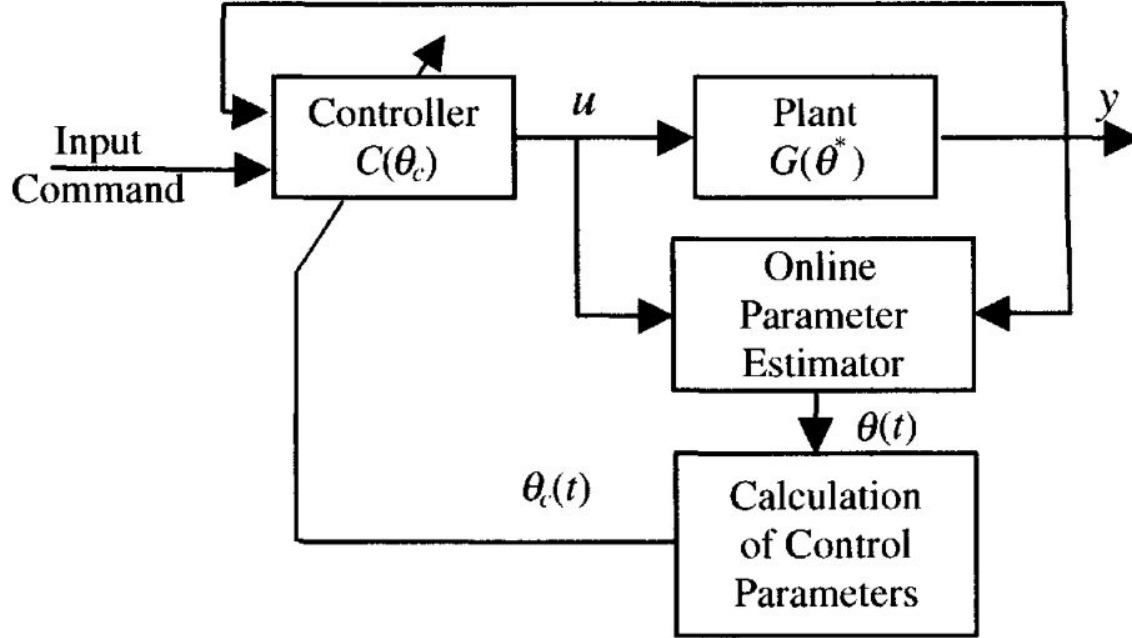
التحكم التكميفي غير المباشر

يتم تقدير معلمات العملية بشكل لحظي واستخدامها لحساب معلمات وحدة التحكم. بعبارة أخرى، في كل مرة t ، يتم تشكيل المصنع المقدّر ومعاملته كما لو كان المصنع الحقيقي في حساب معلمات وحدة التحكم. تمت الإشارة إلى هذا النهج أيضًا باسم التحكم التكميفي الصريح، لأن تصميم وحدة التحكم يعتمد على نموذج صريح للنظام.

التحكم التكميفي المباشر

يتم التعبير عن بارامترات نموذج العملية في بارامترات المتحكم، ثم يتم تقدير بارامترات المتحكم بعد ذلك مباشرةً دون حسابات وسيطة تتضمن تقديرات لمعلمات العملية. تتم الإشارة إلى هذا النهج أيضًا باسم التحكم التكميفي الضمني لأن التصميم يعتمد على تقدير نموذج ضمني للنظام.

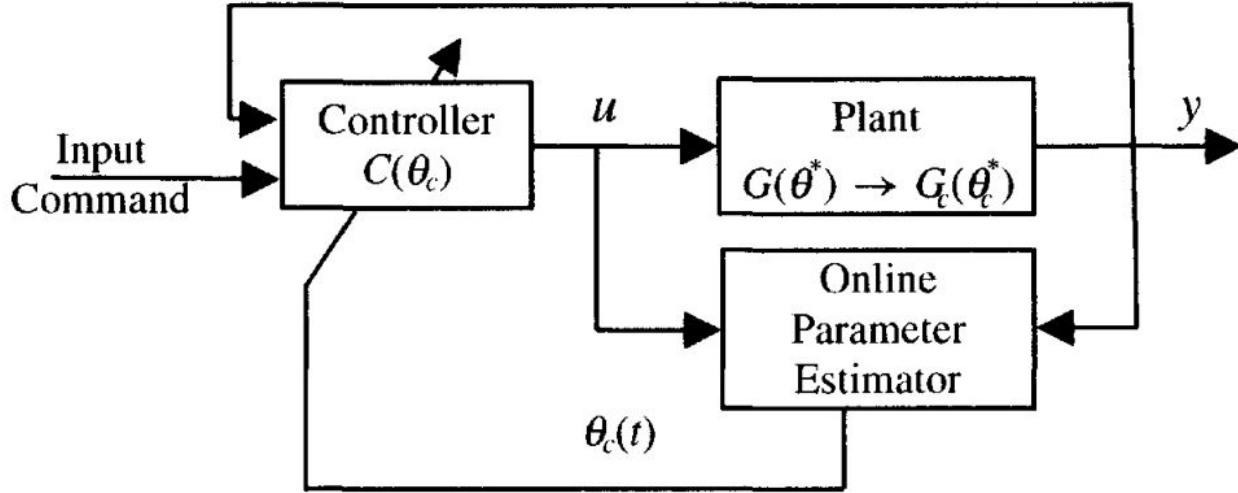
التحكم التكيفي غير المباشر



- يتم نمذجة العملية فيما يتعلق بالبارامترات غير المعروفة θ^* للعملية.
- يتم عمل تقدير لهذه البارامترات $\theta(t)$ بناء على إشارة التحكم وإشارة الخرج.
- يتم تصميم بارامترات المتحكم من خلال التعامل مع النموذج ذو البارامترات المقدرة وكأنه النموذج الحقيقي للعملية.

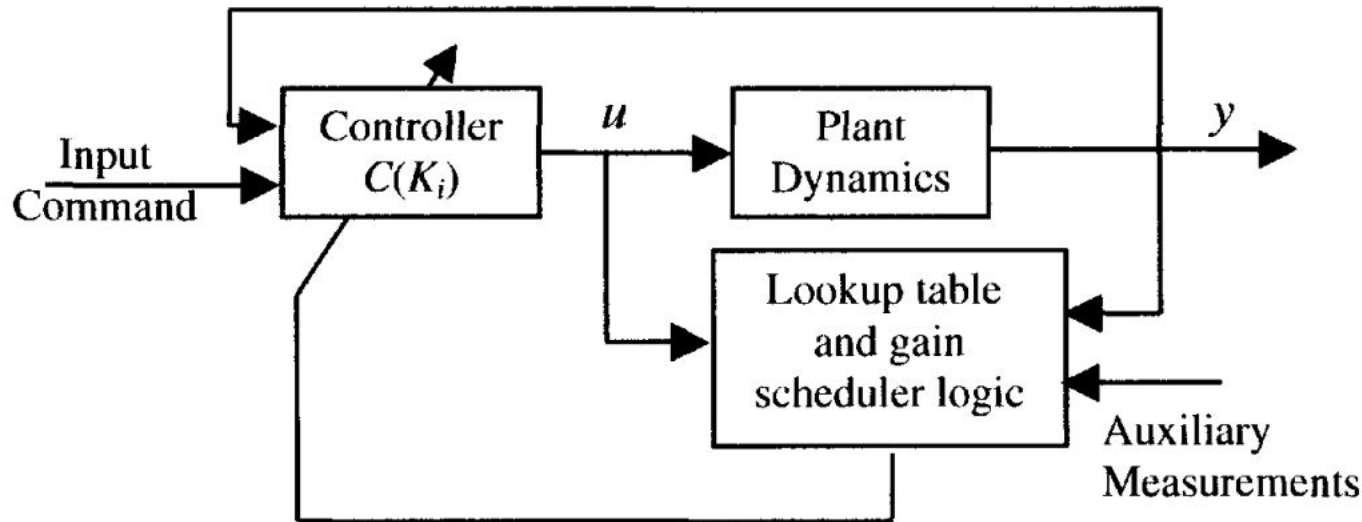
يوجد العديد من الخيارات لبنية المتحكم وكذلك إن تقدير البارامترات يمكن أن يتم من خلال العديد من الطرق .

التحكم التكيفي المباشر



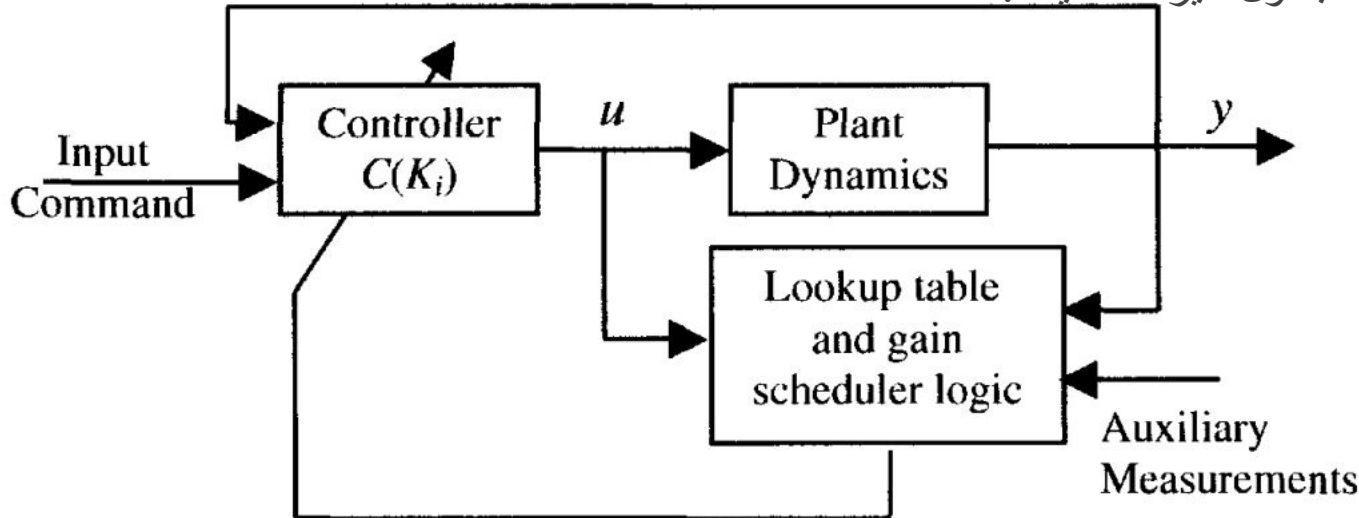
- يتم نمذجة العملية فيما يتعلق بالبارامترات غير المعروفة θ_c^* للمتحكم ونحصل على النموذج $G_c(\theta_c^*)$ والذي يطابق تماما خصائص الدخل/الخرج للنموذج $G(\theta^*)$
- يتم عمل تقدير لهذه البارامترات للحصول على بارامترات المتحكم بشكل مباشر.

في مثال الطيار الآلي تكون مصفوفات النظام A_i, B_i, C_i, D_i معروفة لكل نقطة تشغيل $i: 1, 2, \dots, N$. بالتالي يمكن تصميم وحدة تحكم ردود الفعل بمكاسب ثابتة لكل نقطة تشغيل ولتلبية متطلبات الأداء للنموذج الخطي المقابل. يؤدي هذا إلى متحكم بمجموعة من المكاسب K_1, K_2, \dots, K_N تغطي كامل نقاط تشغيل. بمجرد اكتشاف نقطة التشغيل معينة، يمكن تغيير مكاسب المتحكم إلى القيمة المناسبة K_i التي تم الحصول عليها من مجموعة المكاسب المحسوبة مسبقاً.



العنصران الأساسيان في تنفيذ هذا النهج هما جدول الربح لتخزين قيم K_i وقياسات العملية التي ترتبط جيدًا بالتغيرات في نقاط التشغيل. يتألف جدول الربح من جدول الربح والمنطق المناسب لاكتشاف نقطة التشغيل واختيار القيمة المقابلة لـ K_i من جدول الربح.

- تتمثل ميزة جدولة المكاسب في أنه يمكن تغيير مكاسب وحدة التحكم بسرعة (كما هي سرعة استجابة القياسات المساعدة لتغييرات المعلمات).
- من عيوب جدولة المكاسب هو أن آلية تعديل مكاسب وحدة التحكم يتم حسابها مسبقًا بشكل *offline*، وبالتالي لا تقدم أي ردود فعل للتعويض عن الجداول غير الصحيحة.



التحكم بسرعة محرك تيار مستمر مع وجود تغيرات في أحد معلمات المحرك (معامل الاحتكاك)