Aplicaciones Industriales del Control Automático

Controladores Predictivos

Aníbal Zanini

azanini@fi.uba.ar
Departamento de Electrónica
Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires

CIITI 2005

Esquema de la presentación

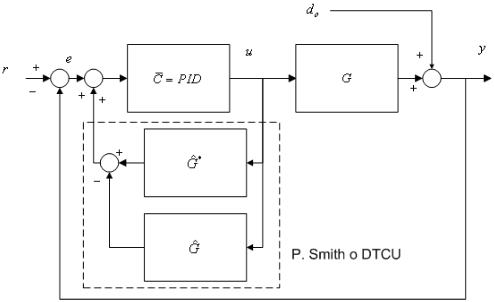
Fiuba
Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires

Esquema de la presentación

Fiuba Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires

Introducción

Primer Controlador Predictivo: Control con Predictor de Smith



Predicción y Control

- El problema de la predicción y del control es un único problema.
- Si se es capaz de saber lo que va a pasar en el futuro, se puede forzar la dinámica para que ese futuro sea como se desee.

El control por realimentación es como manejar un auto mirando por el espejo retrovisor, el control predictivo es hacerlo mirando hacia adelante

Pero...

Predicción y Control

- El problema de la predicción y del control es un único problema.
- Si se es capaz de saber lo que va a pasar en el futuro, se puede forzar la dinámica para que ese futuro sea como se desee.

El control por realimentación es como manejar un auto mirando por el espejo retrovisor, el control predictivo es hacerlo mirando hacia adelante

Pero...

Predicción y Control

- El problema de la predicción y del control es un único problema.
- Si se es capaz de saber lo que va a pasar en el futuro, se puede forzar la dinámica para que ese futuro sea como se desee.

El control por realimentación es como manejar un auto mirando por el espejo retrovisor, el control predictivo es hacerlo mirando hacia adelante

Pero...

Predicción y Control

- El problema de la predicción y del control es un único problema.
- Si se es capaz de saber lo que va a pasar en el futuro, se puede forzar la dinámica para que ese futuro sea como se desee.

El control por realimentación es como manejar un auto mirando por el espejo retrovisor, el control predictivo es hacerlo mirando hacia adelante

Pero...

Predicción

Pero...

- La predicción está basada en un modelo (lo mismo pasa con el P. de Smith),
- Controladores basados en el Modelo (MPC) en forma explícita,
- Implica un conocimiento preciso de la dinámica.

Predicción

Pero...

- La predicción está basada en un modelo (lo mismo pasa con el P. de Smith),
- Controladores basados en el Modelo (MPC) en forma explícita,
- Implica un conocimiento preciso de la dinámica.

Predicción

Pero...

- La predicción está basada en un modelo (lo mismo pasa con el P. de Smith),
- Controladores basados en el Modelo (MPC) en forma explícita,
- Implica un conocimiento preciso de la dinámica.

Predicción

Pero...

- La predicción está basada en un modelo (lo mismo pasa con el P. de Smith),
- Controladores basados en el Modelo (MPC) en forma explícita,
- Implica un conocimiento preciso de la dinámica.

¿Porqué predecir?

¿Porqué predecir?

- Las acciones de control tienen, en general, efecto sobre la salida en instantes futuros,
- Sistemas con retardo.

¿Porqué predecir?

¿Porqué predecir?

- Las acciones de control tienen, en general, efecto sobre la salida en instantes futuros,
- Sistemas con retardo.

Esquema de la presentación

Ejemplo Simple

- a) Planta sin Retardo
- $y_{k+1} = ay_k + bu_k$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}(r_{k+1} - ay_k)$
- Sigue existiendo la realimentación

Ejemplo Simple

- a) Planta sin Retardo
- $y_{k+1} = ay_k + bu_k$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}\left(r_{k+1} - ay_k\right)$
- Sigue existiendo la realimentación

Ejemplo Simple

- a) Planta sin Retardo
- $y_{k+1} = ay_k + bu_k$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}(r_{k+1} - ay_k)$
- Sigue existiendo la realimentación

Ejemplo Simple

- a) Planta sin Retardo
- $y_{k+1} = ay_k + bu_k$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}(r_{k+1} - ay_k)$
- Sigue existiendo la realimentación

Ejemplo Simple

- a) Planta sin Retardo
- $y_{k+1} = ay_k + bu_k$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}(r_{k+1} - ay_k)$
- Sigue existiendo la realimentación

Otro Ejemplo Simple

- b) Misma Planta con retardo:
- $y_{k+2} = ay_{k+1} + bu_k$
- $y_{k+2} = a^2 y_k + bu_k + abu_{k-1}$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}\left(r_{k+2} - a^2 y_k - abu_{k-1}\right)$

Otro Ejemplo Simple

- b) Misma Planta con retardo:
- $y_{k+2} = a y_{k+1} + b u_k$
- $y_{k+2} = a^2 y_k + b u_k + a b u_{k-1}$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b} \left(r_{k+2} - a^2 y_k - a b u_{k-1} \right)$

Otro Ejemplo Simple

- b) Misma Planta con retardo:
- $y_{k+2} = a y_{k+1} + b u_k$
- $y_{k+2} = a^2 y_k + b u_k + a b u_{k-1}$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}\left(r_{k+2} - a^2 y_k - a b u_{k-1}\right)$

Otro Ejemplo Simple

- b) Misma Planta con retardo:
- $y_{k+2} = ay_{k+1} + bu_k$
- $y_{k+2} = a^2 y_k + bu_k + abu_{k-1}$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}\left(r_{k+2} - a^2 y_k - abu_{k-1}\right)$

Otro Ejemplo Simple

- b) Misma Planta con retardo:
- $y_{k+2} = ay_{k+1} + bu_k$
- $y_{k+2} = a^2 y_k + bu_k + abu_{k-1}$
- Ley de Control
- $u_k = \frac{1}{b}\left(r_{k+2} - a^2 y_k - abu_{k-1}\right)$

Esquema de la presentación

Otras formas de ver el Problema

- Concepto de predicción de la salida siempre presente.
- Otra forma de interpretar este control:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2$
- Resolviendo esta ecuación se llega a la misma conclusión anterior.
- Diseño más flexible:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2 + \frac{\lambda}{2}u_k^2$
- Aquí comienza una familia de controladores basados en la predicción....

Otras formas de ver el Problema

- Concepto de predicción de la salida siempre presente.
- Otra forma de interpretar este control:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2$
- Resolviendo esta ecuación se llega a la misma conclusión anterior.
- Diseño más flexible:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2 + \frac{\lambda}{2} u_k^2$
- Aquí comienza una familia de controladores basados en la predicción....

Otras formas de ver el Problema

- Concepto de predicción de la salida siempre presente.
- Otra forma de interpretar este control:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2$
- Resolviendo esta ecuación se llega a la misma conclusión anterior.
- Diseño más flexible:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2 + \frac{\lambda}{2}u_k^2$
- Aquí comienza una familia de controladores basados en la predicción....

Otras formas de ver el Problema

- Concepto de predicción de la salida siempre presente.
- Otra forma de interpretar este control:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2$
- Resolviendo esta ecuación se llega a la misma conclusión anterior.
- Diseño más flexible:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2 + \frac{\lambda}{2}u_k^2$
- Aquí comienza una familia de controladores basados en la predicción....

Otras formas de ver el Problema

- Concepto de predicción de la salida siempre presente.
- Otra forma de interpretar este control:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2$
- Resolviendo esta ecuación se llega a la misma conclusión anterior.
- Diseño más flexible:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2 + \frac{\lambda}{2} u_k^2$
- Aquí comienza una familia de controladores basados en la predicción....

Otras formas de ver el Problema

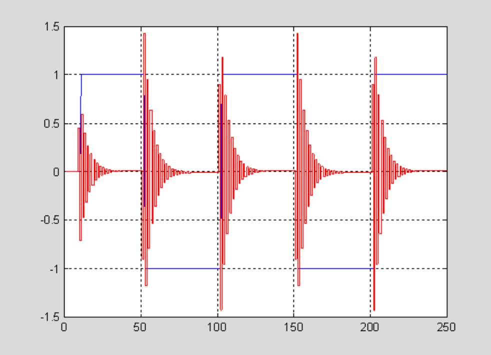
- Concepto de predicción de la salida siempre presente.
- Otra forma de interpretar este control:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2$
- Resolviendo esta ecuación se llega a la misma conclusión anterior.
- Diseño más flexible:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2 + \frac{\lambda}{2}u_k^2$
- Aquí comienza una familia de controladores basados en la predicción....

Otras formas de ver el Problema

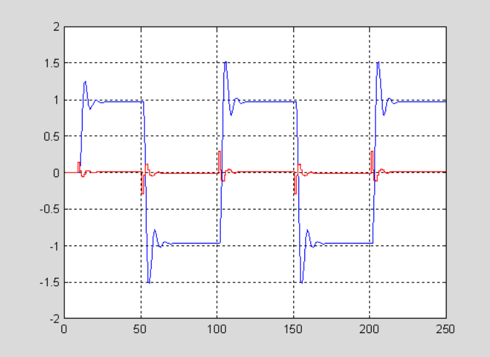
- Concepto de predicción de la salida siempre presente.
- Otra forma de interpretar este control:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2$
- Resolviendo esta ecuación se llega a la misma conclusión anterior.
- Diseño más flexible:
- $J_{k+d} = \frac{1}{2}[y_{k+d} - r_{k+d}]^2 + \frac{\lambda}{2}u_k^2$
- Aquí comienza una familia de controladores basados en la predicción....

Esquema de la presentación

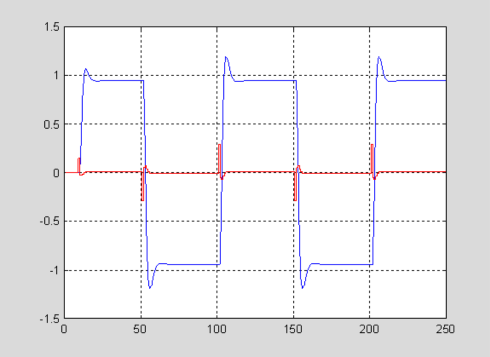
Control Predictivo *Clásico*



Control Predictivo Ponderado

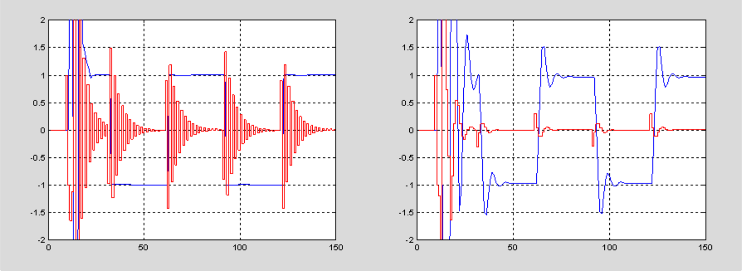


Control Predictivo Ponderado con Polinomios

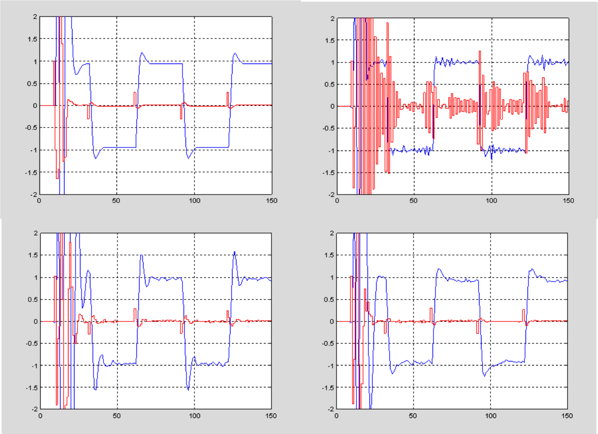


Adaptación de los Controladores Predictivos

Los controladores predictivos tienen una estructura muy conveniente para hacerlos adaptables



Plantas con Ruido



Esquema de la presentación

Ejemplos de integrantes de la Familia

- Dependiendo de cómo se defina el funcional:
- $J = \sum_{h=N_1}^{N_2} \left[r_{k+h} - y_{k+h/k} \right]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \left[\Delta u_{k+j-1} \right]^2$
- Lazo simple o multivariable
- Función de transferencia, Variables de estado, Matriz dinámica
- Dependiendo de cómo se defina el predictor: lineal, no lineal, difuso, neuronal
- Dependiendo de cómo se minimice el funcional, puede incluir restricciones

Fiuba Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires

Ejemplos de integrantes de la Familia

- Dependiendo de cómo se defina el funcional:
- $J = \sum_{h=N_1}^{N_2} \left[r_{k+h} - y_{k+h/k} \right]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \left[\Delta u_{k+j-1} \right]^2$
- Lazo simple o multivariable
- Función de transferencia, Variables de estado, Matriz dinámica
- Dependiendo de cómo se defina el predictor: lineal, no lineal, difuso, neuronal
- Dependiendo de cómo se minimice el funcional, puede incluir restricciones

Fiuba
Facultad de Ingeniería
Universidad de Buenos Aires

Ejemplos de integrantes de la Familia

- Dependiendo de cómo se defina el funcional:
- $J = \sum_{h=N_1}^{N_2} \left[r_{k+h} - y_{k+h/k} \right]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \left[\Delta u_{k+j-1} \right]^2$
- Lazo simple o multivariable
- Función de transferencia, Variables de estado, Matriz dinámica
- Dependiendo de cómo se defina el predictor: lineal, no lineal, difuso, neuronal
- Dependiendo de cómo se minimice el funcional, puede incluir restricciones

Fiuba Facultad de Ingeniería Universidad de Buenos Aires

Ejemplos de integrantes de la Familia

- Dependiendo de cómo se defina el funcional:
- $J = \sum_{h=N_1}^{N_2} \left[r_{k+h} - y_{k+h/k}\right]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \left[\Delta u_{k+j-1}\right]^2$
- Lazo simple o multivariable
- Función de transferencia, Variables de estado, Matriz dinámica
- Dependiendo de cómo se defina el predictor: lineal, no lineal, difuso, neuronal
- Dependiendo de cómo se minimice el funcional, puede incluir restricciones

Ejemplos de integrantes de la Familia

- Dependiendo de cómo se defina el funcional:
- $J = \sum_{h=N_1}^{N_2} \left[r_{k+h} - y_{k+h/k} \right]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \left[\Delta u_{k+j-1} \right]^2$
- Lazo simple o multivariable
- Función de transferencia, Variables de estado, Matriz dinámica
- Dependiendo de cómo se defina el predictor: lineal, no lineal, difuso, neuronal
- Dependiendo de cómo se minimice el funcional, puede incluir restricciones

Ejemplos de integrantes de la Familia

- Dependiendo de cómo se defina el funcional:
- $J = \sum_{h=N_1}^{N_2} \left[r_{k+h} - y_{k+h/k} \right]^2 + \lambda \sum_{j=1}^{N_u} \left[\Delta u_{k+j-1} \right]^2$
- Lazo simple o multivariable
- Función de transferencia, Variables de estado, Matriz dinámica
- Dependiendo de cómo se defina el predictor: lineal, no lineal, difuso, neuronal
- Dependiendo de cómo se minimice el funcional, puede incluir restricciones

Esquema de la presentación

Conclusiones

- Controladores basados en el modelo de la planta
  Predicción y control
- La predicción no reemplaza a la realimentación
- En un mono lazo no superan a un PID
- Pero es muy fácil de extrapolar la idea a sistemas multivariables
- Muy utilizado en la industria

Conclusiones

- Controladores basados en el modelo de la planta
  Predicción y control
- La predicción no reemplaza a la realimentación
- En un mono lazo no superan a un PID
- Pero es muy fácil de extrapolar la idea a sistemas multivariables
- Muy utilizado en la industria

Conclusiones

- Controladores basados en el modelo de la planta
  Predicción y control
- La predicción no reemplaza a la realimentación
- En un mono lazo no superan a un PID
- Pero es muy fácil de extrapolar la idea a sistemas multivariables
- Muy utilizado en la industria

Conclusiones

- Controladores basados en el modelo de la planta
  Predicción y control
- La predicción no reemplaza a la realimentación
- En un mono lazo no superan a un PID
- Pero es muy fácil de extrapolar la idea a sistemas multivariables
- Muy utilizado en la industria

Conclusiones

- Controladores basados en el modelo de la planta Predicción y control
- La predicción no reemplaza a la realimentación
- En un mono lazo no superan a un PID
- Pero es muy fácil de extrapolar la idea a sistemas multivariables
- Muy utilizado en la industria

Referencias I

- Goodwin, G. Sin: Adaptive Filtering, Prediction and Control, Prentice Hall - 1984.
- E.F. Camacho, Model Predictive Control in the Process Industry, Springer, 1995.