



ECCI

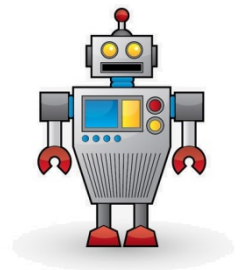
Escuela de
Ciencias de la
Computación e
Informática

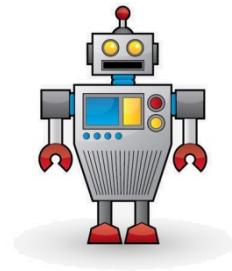
UCR

Control

CI-0160 Robótica

Prof. Kryscia Ramírez Benavides



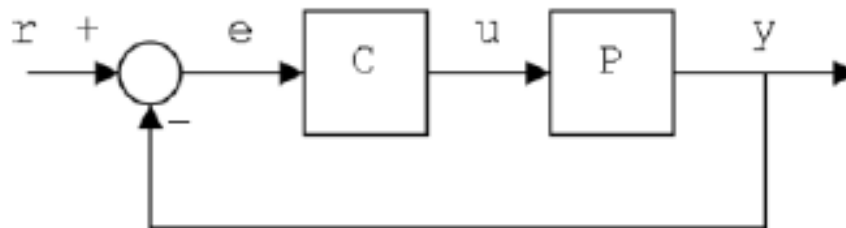


Control de Nivel Bajo

Componentes de un Sistema de Control

🤖 Los principales componentes son:

- 🤖 1. La planta, o el proceso que está siendo controlado.
- 🤖 2. El controlador, que controla la planta.
- 🤖 3. El sistema de medición, que es necesario para el control de retroalimentación.



Control



Objetivo: Hacer que la planta responda a las entradas de la manera deseada.



En un sistema de control de tipo regulador, el objetivo es mantener la producción en un valor deseado (constante).



En un sistema de control de tipo servomecanismo, el objetivo es que la salida siga una trayectoria deseada.

Control de Bucle Abierto (*Open Loop*)

- 🤖 El control preciso será posible incluso sin control por retroalimentación si:
 - 🤖 La planta es estable y se conoce completamente y con precisión, y las entradas a la planta desde el controlador se pueden generar y aplicar con precisión.
- 🤖 En este caso, el sistema de medición no es necesario (o al menos no es necesario para la retroalimentación) y por lo se tiene un sistema de control de bucle abierto.







Tipos de Sistemas de Control de Retroalimentación

- 🤖 Control lineal versus no lineal.
- 🤖 Tiempo invariante versus tiempo variante.
- 🤖 Continuo versus discreto.

Especificaciones del Sistema de Control

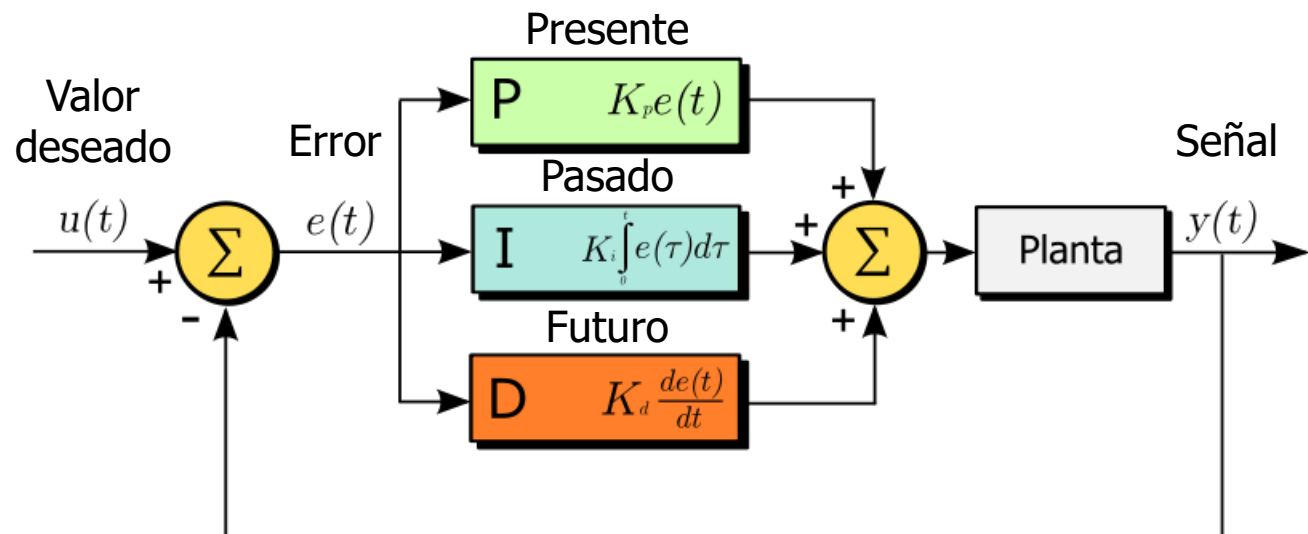
Atributo	Valor Deseado	Propósito	Especificaciones
Estabilidad	Alta	La respuesta no crece sin límite y decae hasta el valor deseado	Rebasamiento de porcentaje, tiempo de establecimiento, ubicaciones de los polos (valor propio), constantes de tiempo, márgenes de fase y ganancia, coeficientes de amortiguación
Velocidad de respuesta	Rápida	La planta responde rápidamente a las entradas	Tiempo de subida, tiempo de pico, tiempo de retardo, frecuencias naturales, las frecuencias de resonancia, ancho de banda
Error de estado estacionario	Baja	El desplazamiento de la respuesta deseada es insignificante	Error de tolerancia para el paso por entrada
Robusto	Alta	Respuesta precisa en condiciones de incertidumbre (ruido de la señal, error del modelo, etc.) y en virtud de la variación de los parámetros	Entrada de tolerancia al ruido, la tolerancia de errores de medición, la tolerancia del modelo de error
Interacción dinámica	Baja	Una entrada afecta sólo a una salida	Sensibilidad cruzada, funciones de transferencia cruzadas

Métodos de Control Convencionales

-  Control PID (proporcional-integral-derivativo).
-  Control de realimentación no lineal.
-  Control adaptativo.
-  Control por modo deslizante.
-  Control cuadrático lineal.
-  Control H-Infinito.

Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo)

🤖 PID (Proporcional Integral Derivativo) es un mecanismo de control por retroalimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso.







Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) (cont.)

- 🤖 El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos:
 - 🤖 El proporcional.
 - 🤖 El integral.
 - 🤖 El derivativo.

Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) (cont.)

- 🤖 El valor **Proporcional** determina la reacción del error actual.
- 🤖 El valor **Integral** genera una corrección proporcional a la integral del error, esto asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero.
- 🤖 El valor **Derivativo** determina la reacción del tiempo en el que el error se produce.

Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) (cont.)

-  La suma de las tres acciones es usada para ajustar al proceso vía un elemento de control, como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo.
-  Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar.
-  La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "*set point*", y el grado de oscilación del sistema.
 -  El uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

Control PID (Proporcional-Integral-Derivativo) (cont.)

- 🤖 Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control.
 - 🤖 Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas.
 - 🤖 Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.





Funcionamiento del Control PID

- 🤖 Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:
 - 🤖 Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc.).
 - 🤖 Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
 - 🤖 Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc.).




Funcionamiento del Control PID (cont.)

- 🤖 El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el **punto actual** en el que se encuentra el proceso o sistema.
 - 🤖 La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que son con corriente continua.
- 🤖 El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor.
 - 🤖 Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (*HMI-Human Machine Interface*), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

Funcionamiento del Control PID (cont.)

-  El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido.
 -  La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID.
-  Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador.
-  La señal resultante de la suma de estas tres se llama **variable manipulada** y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

Funcionamiento del Control PID (cont.)

-  Los tres componentes de un controlador PID son: parte **P**roporcional, acción **I**ntegral y acción **D**erivativa.
-  El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente.
-  Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

Control Proporcional

- 🤖 La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional, para que hagan que el error en estado estacionario sea casi nulo.
 - 🤖 En la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango.
- 🤖 Existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados.

Control Proporcional (cont.)

🤖 La fórmula del proporcional esta dada por:

$$P_{sal} = K_p e(t)$$

- 🤖 El error, la banda proporcional y la posición inicial del elemento final de control se expresan en tanto por uno. Nos indicará la posición que pasará a ocupar el elemento final de control.
 - 🦋 Ejemplo: Cambiar la posición de una válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la desviación de la temperatura (variable) respecto al punto de consigna (valor deseado).

Control Integral

- 🤖 El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional.
- 🤖 Actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional.
 - 🤖 El **error** es integrado, lo cual tiene la función de promediarlo o sumarlo por un período determinado.
 - 🤖 Luego es multiplicado por una constante **I**.
 - 🤖 Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.




Control Integral (cont.)

🤖 La formula del integral esta dada por:

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

🤖 Ejemplo: Mover la válvula (elemento final de control) a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna (variable deseada).

Control Derivativo

-  La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral).
-  El **error** es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "*Set Point*".
-  La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Control Derivativo (cont.)

🤖 La fórmula del derivativo esta dada por:


$$D_{\text{sal}} = K_d \frac{de}{dt}$$

🤖 El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo.

🤖 La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.


Significado de las Constantes


 **P constante de proporcionalidad:** Se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional.

 Ejemplo: Cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna. La señal P mueve la válvula siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

 **I constante de integración:** Indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.


 **D constante de derivación:** Hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique.


 El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá.

 Ejemplo: Mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna. La señal I va sumando las áreas diferentes entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según el tiempo de acción derivada (minutos/repetición).

Significado de las Constantes (cont.)

 Tanto la acción Integral como la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso.

 La acción integral sirve para reducir el error estacionario, que existiría siempre si la constante K_i fuera nula.

 Ejemplo: Corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada. La señal d es la pendiente (tangente) por la curva descrita por la variable.

 La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID.

 Definiendo $u(t)$ como la salida del controlador, la forma final del algoritmo del PID es:

$$u(t) = MV(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$




Significado de las Constantes (cont.)

Parámetro de Control	Descripción	Funciones	Efectos Adversos Secundarios
K_p	Ganancia proporcional	Acelera la respuesta Reduce el desplazamiento Reduce el acoplamiento cruzado	El sistema puede ser menos estable (el exceso, oscilaciones, etc.)
K_i	Constante de tiempo integral	Reduce el desplazamiento Reduce el ruido	Se puede ralentizar el sistema Tiene un efecto desestabilizador Introduce un retardo de fase
K_d	Constante de tiempo derivativo	Estabiliza la respuesta (amortiguación) Acelera el sistema Proporciona un avance de fase (efecto anticipatorio)	Mejora el ruido de alta frecuencia Difíciles de implementar físicamente

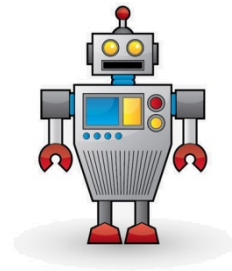
Tuning PID

- 🤖 Existen varios métodos para el ajuste de un controlador PID.
- 🤖 Con el fin de que las constantes K_p , K_i y K_d sean eficaces, deben ser seleccionadas basándose en los parámetros del modelo dinámico de la planta.
- 🤖 Si el sistema puede estar fuera de línea, los parámetros de control se puede determinar mejor sometiendo el sistema a un cambio de paso en la entrada, y luego midiendo la respuesta como una función del tiempo.

Método Ziegler-Nichols

-  **Paso 1.** Las ganancias K_i y K_d están primero en cero.
-  **Paso 2.** La ganancia K_p se incrementa hasta llegar a la “ganancia crítica” K_c en el que la salida de la planta comienza a oscilar.
-  **Paso 3.** K_c y el período de oscilación P_c se utilizan para establecer los beneficios como se indica en la tabla:

Control Type	K_p	τ_i	τ_d
P	$0.5 \cdot K_c$	-	-
PI	$0.45 \cdot K_c$	$1.2 K_p / P_c$	-
PID	$0.6 \cdot K_c$	$2 K_p / P_c$	$K_p P_c / 8$



Control del Robot

Propiedades de Arquitecturas

- 🤖 Una arquitectura de control proporciona un conjunto de principios para la organización de un sistema de control
 - 🤖 Proporciona la estructura.
 - 🤖 Establece restricciones.
- 🤖 Se refiere al nivel de software de control, no al hardware.
- 🤖 Implementada en un lenguaje de programación
 - 🤖 Un lenguaje universal de Turing.
 - 🦋 Secuenciación
 - 🦋 Bifurcación condicional
 - 🦋 Iteración
 - 🤖 Teóricamente, cualquier lenguaje puede ser implementado en cualquier arquitectura

Propiedades de Arquitecturas (cont.)

- 🤖 “Lenguaje de Programación” \neq “Arquitectura del Robot”
- 🤖 Las arquitecturas guían cómo se estructuran los programas.
- 🤖 Todas se implementan en lenguajes de programación universales de Turing

Tendencias de la Robótica

Robots Clásicos
(mediados de los 70)

- Modelos exactos
- Detección no necesaria

Paradigma Reactivo
(mediados de los 80)

- No hay modelos
- Depende en gran medida de la buena detección

Híbridos (los 90)

- Basado en modelos en los niveles superiores
- Reactiva en los niveles inferiores

Robótica probabilística
(mediados de los 90)

- Perfecta integración de modelos y sensores
- Modelos inexactos, sensores imprecisos

Clases de Arquitecturas de Control del Robot

Deliberativa

 Mirar, pensar, planificar, y luego actuar.

Reactiva

 No mirar, reaccionar.

Híbrida

 Pensar despacio, reaccionar rápidamente.

Basada en comportamientos

 Distribuir el pensar en actuar.

Clasificación según la Escala de Tiempo



Deliberativa



Basado en planeamiento, trabaja en una escala de tiempo más larga.



Reactiva



Responde a los requisitos del entorno en tiempo real.



Híbrida



Combina las dos escalas de tiempo, generalmente a través de una capa intermedia, por lo que también se llama arquitectura de tres capas.




Basada en comportamientos



Trae las escalas de tiempo juntas mediante la distribución de cálculo respecto a los modelos de comportamiento concurrentes.

Representación

 Fuerte relación entre la clase de arquitectura de control y la metodología de representación utilizada

 Tiempo para construir

 Tiempo de usar

Control Deliberativo




- 🤖 Arquitectura de control clásico.
- 🤖 Utilizado por primera vez en la IA para razonar acerca de las acciones en dominios no físicos (como el ajedrez).
- 🤖 Era natural usar esta arquitectura en la robótica al principio.

Planeamiento


- 🤖 Viendo al futuro, en busca de qué hacer a continuación.
- 🤖 La meta es un estado.
- 🤖 El espacio de estados completo se enumera y registra, desde el estado actual al estado objetivo.
- 🤖 Diferentes caminos son juzgados.
- 🤖 Se desea utilizar la trayectoria óptima.

El Problema del Planeamiento

Entradas:

-  1. Una descripción del estado del entorno.
-  2. El comportamiento objetivo.
-  3. Un conjunto de acciones.

Salida:

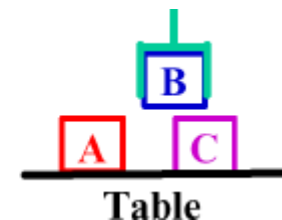
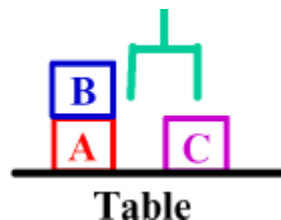
-  Una secuencia de acciones que se pueden aplicar al Estado, para satisfacer la descripción de las conductas objetivo.

Ejemplo de Planeamiento: Mundo de los Cubos

🤖 Problema clásico de IA.

🤖 Suposiciones:

- 🤖 Todos los bloques de igual tamaño.
- 🤖 Mesa fija, la posición del bloque en la mesa no tiene importancia.
- 🤖 Un bloque encima de otro.
- 🤖 Cualquier número de bloques en la mesa.
- 🤖 Los bloques se recogen y se ponen abajo por el brazo.
- 🤖 El brazo sólo puede contener un bloque a la vez.





Ejemplo de Planeamiento: Mundo de los Cubos (cont.)


Objetos:

-  Bloques: A, B, C.
-  Mesa: Mesa.



Estados:

-  Las conjunciones de grandes literales.
-  $\text{On}(A, B)$, $\text{On}(C, \text{Mesa})$, $\text{Clear}(B)$, Handempty , $\text{Holding}(C)$

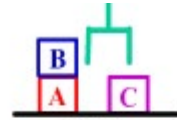
Acciones

-  Esquemas de operación con variables.
-  $\text{Pickup}(x)$, $\text{Putdown}(x, y)$.

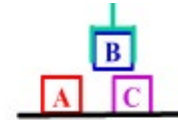
Axiomas de dominio:

-  "A lo sumo un bloque encima de otro".
-  "El brazo debe estar vacío y el bloque debe ser claro para recogerlo".

Tiras en el Mundo de los Cubos



Table



Table

Pickup_from_table(b)

Pre: Block(b), Handempty

Clear(b), On(b, Table)

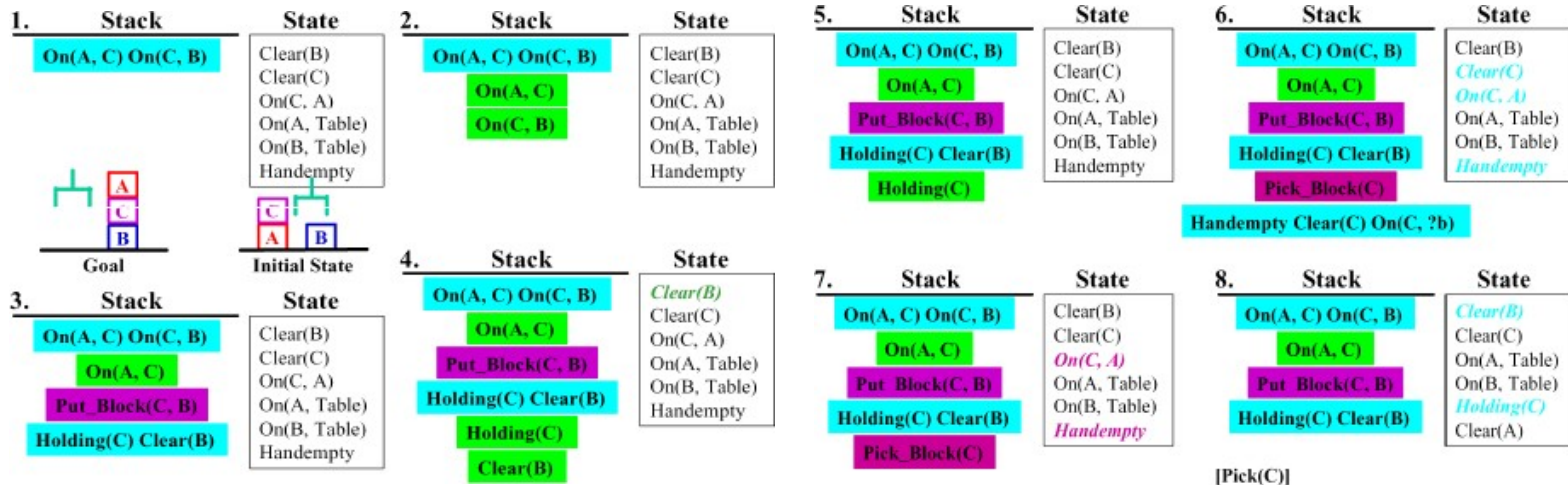
Add: Holding(b)

Delete: Handempty, On(b, Table)

Putdown_on_table(b)

Pre: Block(b), Holding(b)

Add: Handempty, On(b, Table) Delete: Holding(b)



Tiras en el Mundo de los Cubos (cont.)

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	<i>Clear(B)</i>
On(A, C)	Clear(C)
Put_Block(C, B)	On(A, Table)
	On(B, Table)
	<i>Holding(C)</i>
	Clear(A)

[Pick(C)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	Clear(C)
Put_Block(A, C)	On(A, Table)
Holding(A) Clear(C)	On(B, Table)
	Clear(A)
	Handempty
	On(C, B)

[Pick(C); Put(C, B)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	Clear(C)
On(A, C)	On(A, Table)
	On(B, Table)
	Clear(A)
	Handempty
	On(C, B)

[Pick(C); Put(C, B)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	<i>Clear(C)</i>
Put_Block(A, C)	On(A, Table)
Holding(A) Clear(C)	On(B, Table)
Holding(A)	Clear(A)
Clear(C)	Handempty
	On(C, B)

[Pick(C); Put(C, B)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	Clear(C)
Put_Block(A, C)	On(A, Table)
Holding(A) Clear(C)	On(B, Table)
Holding(A)	Clear(A)
	Handempty
	On(C, B)

[Pick(C); Put(C, B)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	Clear(C)
Put_Block(A, C)	<i>On(A, Table)</i>
Holding(A) Clear(C)	On(B, Table)
Pick_Table(A)	Clear(A)
	<i>Handempty</i>
	On(C, B)

[Pick(C); Put(C, B)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	Clear(C)
Put_Block(A, C)	<i>On(A, Table)</i>
Holding(A) Clear(C)	On(B, Table)
Pick_Table(A)	<i>Clear(A)</i>
Handempty Clear(A)	<i>Handempty</i>
On(A, Table)	On(C, B)

[Pick(C); Put(C, B)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	<i>Clear(C)</i>
Put_Block(A, C)	On(B, Table)
Holding(A) Clear(C)	Clear(A)
	On(C, B)
	<i>Holding(A)</i>

[Pick(C); Put(C, B); PickT(A)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	<i>Clear(C)</i>
Put_Block(A, C)	On(B, Table)
	Clear(A)
	On(C, B)
	<i>Holding(A)</i>

[Pick(C); Put(C, B); PickT(A)]

Stack	State
On(A, C) On(C, B)	On(B, Table)
	Clear(A)
	<i>On(C, B)</i>
	Handempty
	<i>On(A, C)</i>

[Pick(C); Put(C, B); PickT(A); Put(A, C)]

Stack	State
	On(B, Table)
	Clear(A)
	On(C, B)
	Handempty
	On(A, C)

[Pick(C); Put(C, B); PickT(A); Put(A, C)]

Control Reactivo

- 🤖 Funciona con una escala de tiempo corto.
- 🤖 No mira hacia el futuro.
- 🤖 Se basa en un ciclo de conectar los sensores del robot con sus efectores.
- 🤖 Controladores puramente reactivos, no se usa ninguna representación interna, sino que simplemente reacciona a la información sensorial actual.
- 🤖 Utiliza una asignación directa entre el sensor y efectores; información de estado mínimo (si los hay).

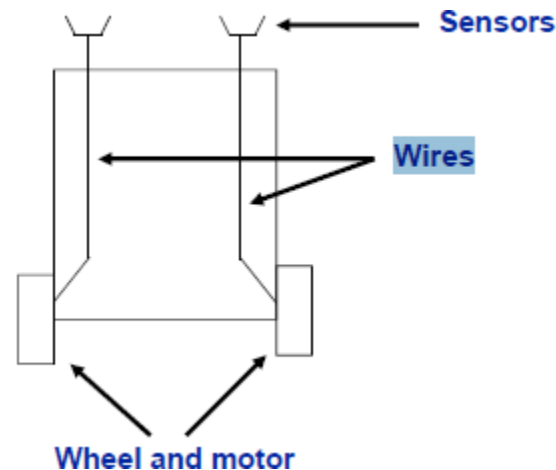
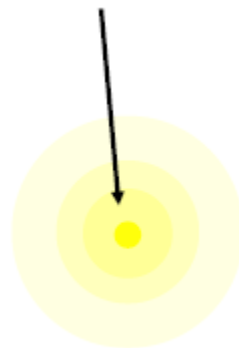
Representación

- 🤖 Colección de reglas que asignan las situaciones a las acciones.
- 🤖 La forma más simple:
 - 🤖 Divide el mundo perceptual en un conjunto de situaciones que se excluyen mutuamente.
 - 🤖 Reconoce qué situación se encuentra.
 - 🤖 Reacciona.
- 🤖 Por lo general, es difícil de definir situaciones mutuamente excluyentes.
- 🤖 Mapeo de la entrada sensorial a las acciones se realiza durante el tiempo de diseño del sistema, no en tiempo de ejecución.
- 🤖 A menudo, los seres humanos pueden filtrar / reducir el tamaño del espacio sensorial completo.

Vehículos de Braitenberg

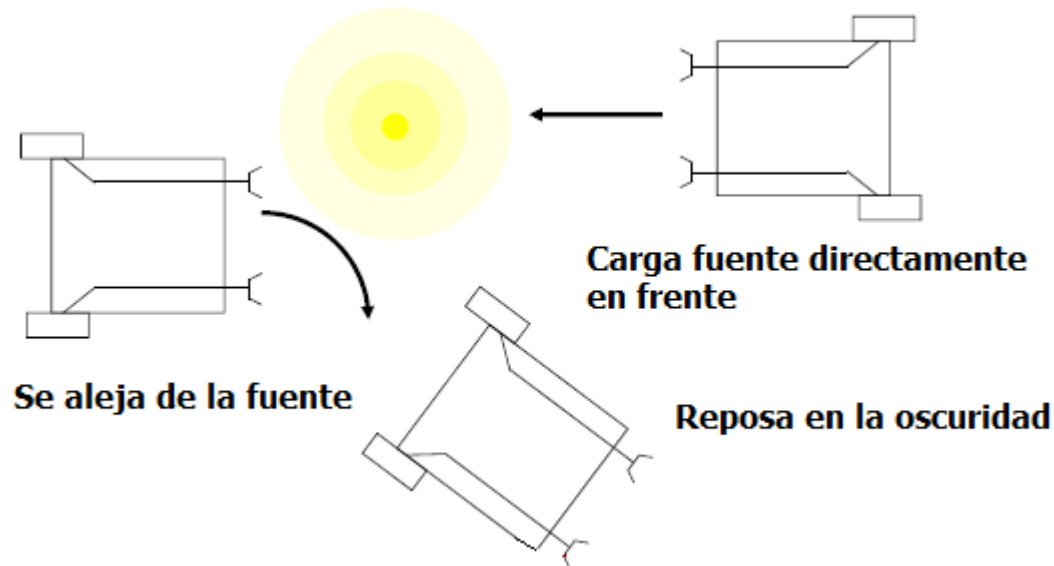
- 👤 Al variar las conexiones y sus puntos fuertes, dan como resultado conductas numerosos, por ejemplo:
 - 👤 "miedo / cobardía" - huye de la luz
 - 👤 "agresión" - cargas en la luz
 - 👤 "amor" - siguiendo / abrazos
 - 👤 Muchos otros, hasta la memoria y el aprendizaje.

Sensory source



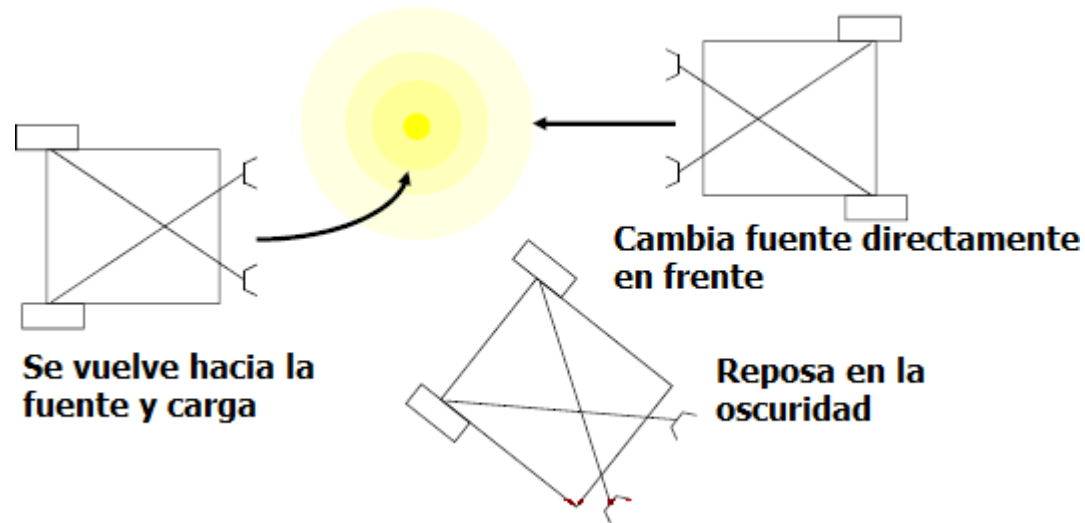
Vehículo 1: Cobarde

- Los sensores (de luz) conectados directamente al motor del mismo lado.



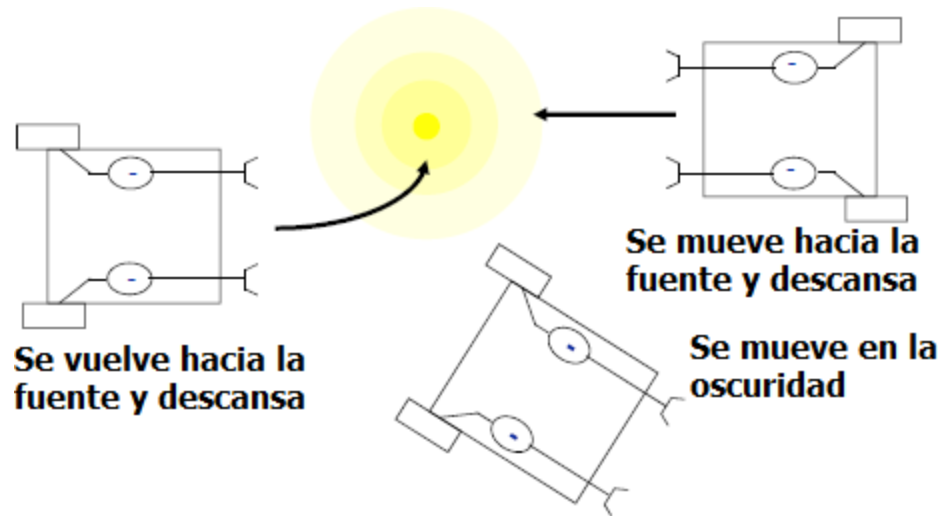
Vehículo 2: Agresivo

- Los sensores conectados directamente al motor en el lado opuesto.



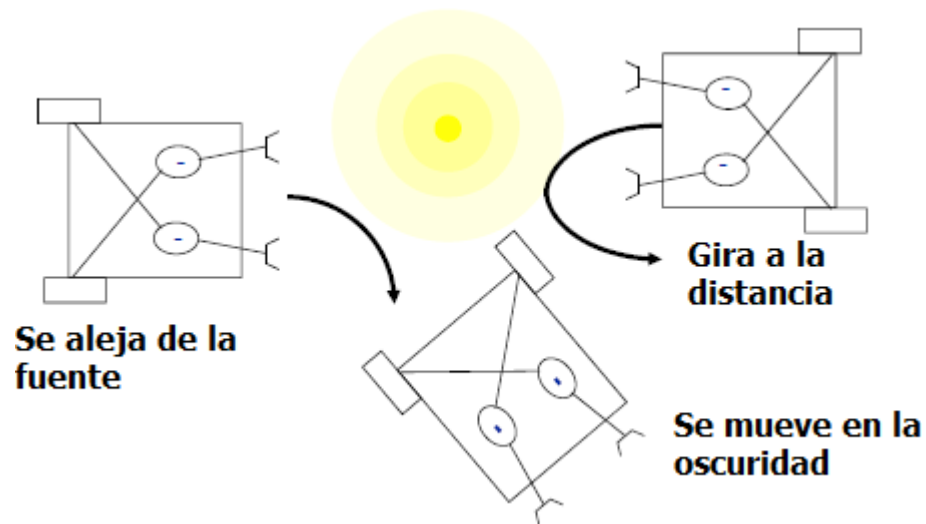
Vehículo 3: Amor

- Los sensores conectados a través del inversor para el mismo lado.






Vehículo 4: Explorador

- Los sensores conectados a través del inversor en el lado opuesto.






Control Híbrido

Idea básica:

-  Utiliza lo mejor de los dos mundos (deliberativo y reactivo).
-  Combina la ejecución de lazo abierto y lazo cerrado.
-  Combina diferentes escalas de tiempo y representaciones.

Típicamente consta de tres componentes:



-  (1) Capa reactiva
-  (2) Planificador (capa deliberativa)
-  (3) Capa de integración para combinar (1) y (2)

Llamada arquitectura de tres capas.

Control Híbrido (cont.)

- 🤖 Las capas de planificación y reactiva son estándar.
- 🤖 La capa media (de integración) tiene que:
 - 🤖 Compensar las limitaciones de la planificación y las capas reactivas.
 - 🤖 Conciliar las diferentes escalas de tiempo de las otras dos capas.
 - 🤖 Conciliar las diferentes representaciones de las otras dos capas.
 - 🤖 Conciliar las órdenes contradictorias entre las otras dos capas.

Referencias Bibliográficas

-  Fu, K.S.; González, R.C. y Lee, C.S.G. Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence. McGraw-Hill. 1987.
-  Robótica: Estimación de posición por odometría. URL: <http://cuentos-cuanticos.com/2011/12/15/robotica-estimacion-de-posicion-por-odometria/>



¡Gracias!



Dra. Kryscia Daviana Ramírez Benavides
Profesora e Investigadora
Universidad de Costa Rica
Escuela de Ciencias de la Computación e Informática

Sitio Web: <http://www.kramirez.net/>
E-Mail: kryscia.ramirez@ucr.ac.cr
kryscia.ramirez@eccu.ucr.ac.cr

Redes Sociales:

