



UNIVERSIDAD DE MONTERREY

División de Ingeniería y Tecnologías

Departamento de Ingeniería

VEHÍCULO AUTÓNOMO SUPERMILLA

Documentación del Proyecto

Dr. Jorge de Jesús Lozoya Santos

Project Assessor

Pedro Aguiar

Paulina Ferretiz

César Hernández

Erick Marroquín

Adolfo Orduño

Carlos Ponce

Cristina Treviño

1 de octubre de 2014

Índice general

1. Introducción	1
2. Mecánica	2
2.1. Objetivo y Necesidad	2
2.2. Problema y Propuestas	4
2.2.1. Delimitantes del problema	4
2.2.2. Propuestas evaluadas	7
2.3. Evaluación de propuestas	8
2.3.1. Variables a Evaluar	8
2.3.2. Listado de Conceptos	8
2.4. Concepto Ganador	8
2.4.1. Diseño conceptual	8
2.5. Selección de Componentes Mecánicos	9
2.5.1. Diseño de reducción	9
2.5.2. Proceso de selección de engranes	9
2.5.3. Proceso de selección de sprockets	10
2.6. Lista de componentes	11
2.7. Conclusiones	11
3. Electrónica	12
4. Software	13
4.1. Comunicación	13
4.2. Microcontroladores	13
4.2.1. Instalación del toolchain	13
4.2.2. Estructura	14
4.2.3. VAS_ACCEL	14
4.2.4. VAS_BRAKE	16
4.2.5. VAS_RASPI	16
4.2.6. VAS_STEER	17
4.3. TCP server para HMI	17
4.4. Visión	17
5. Control	18
A. Title of Appendix A	19

Índice de figuras

2.1. Vehículo supermilla en su estado inicial	2
2.2. Vistas lateral y frontal del vehículo	4
2.3. Vistas superior, lateral y frontal de la chumacera	6
2.4. Motor DAYTON 900-3140-050	6

Índice de tablas

2.1. Parámetros de interés del motor DAYTON 900-3140-050.	2
2.2. Algunos parámetros de interés del mecanismo de dirección.	3
2.3. Reducción a través de los componentes de la transmisión.	3
2.4. Datos de la transmisión por sprockets	4
2.5. Resultados para la transmisión por sprockets	4
2.6. Componentes utilizados en el mecanismo de dirección y sus precios. .	5
2.7. Resultados de la evaluación.	5

Capítulo 1

Introducción

Capítulo 2

Mecánica

2.1 Objetivo y Necesidad

En el departamento de Ingeniería de la Universidad de Monterrey, existe una línea de tradición en el diseño automotriz, ésta cuenta ya con un auto de hidrógeno, y su siguiente paso es el Vehículo Autónomo Supermilla. El VAS es un proyecto que consiste en modificar el vehículo supermilla (Figura 1) y convertirlo en un auto con dirección autónoma, esto es, se controlará por una computadora que tomará las decisiones para el posicionamiento angular de las llantas. Una de las etapas de este nuevo proyecto es la generación de una dirección controlada eléctricamente (drive by wire), para lo cual se requiere de la implementación de un mecanismo que soporte el control de la dirección con un motor a máximo 24VDC.

Parámetro	Magnitud	Unidad
Potencia	0.17	HP
Velocidad angular	1800	RPM
Torque	0.49	lb.ft
Torque	5.84	lb.in
FS	2.00	N/A
Longitud del lado de la base	2 5/8	pulgada
Diámetro de la flecha	1/2	pulgada
Longitud motor sin flecha	7 7/8	pulgada
Longitud flecha	1 1/2	pulgada

Tabla 2.1: Parámetros de interés del motor DAYTON 900-3140-050.



Figura 2.1: Vehículo supermilla en su estado inicial



Parámetro	Magnitud	Unidad
Altura al centro de la flecha	13.80	pulgadas
Revoluciones deseadas	1.5	rev/s
Revoluciones deseadas	90	RPM
Fuerza necesaria para girar dirección	55	N
Torque necesario para girar dirección	38.94	lb.in

Tabla 2.2: Algunos parámetros de interés del mecanismo de dirección.

Componente	RPM	Torque (lb.in)	Relación
Piñón motor	1800	5.84	4
Engrane	450	23.34	1
Piñón	450	23.34	4
Engrane	112.5	93.37	1
Sprocket	112.5	93.37	1.25
Sprocket	90	116.71	20

Tabla 2.3: Reducción a través de los componentes de la transmisión.

El mecanismo debe cumplir la función de transmitir la energía de rotación del motor (controlada) para efectuar el movimiento de las llantas exigiendo la menor cantidad de torque del motor, además debe ser lo suficientemente compacto para no afectar de manera considerable el espacio disponible para el conductor. El diseño del mecanismo debe hacerse considerando que el mecanismo es un subsistema de una máquina que responderá de manera autónoma al entorno, por lo que se debe considerar:

- Minimizar el torque necesario para moverlo (bajar el precio del motor).
- Minimizar el radio de giro del vehículo (permitirá mayor control del mismo).
- Maximizar sensibilidad de giro (que se cambie el ángulo de giro de la dirección rápidamente).

Creemos que este es problema que requiere de los conocimientos adquiridos en clase y una gran oportunidad para ponerlos en práctica. En la solución que se implementó se utilizan los siguientes componentes vistos en clase: engranes, sprockets, cadenas, flechas, bujes y baleros. A continuación se presenta el proceso de evaluación de conceptos, la selección de componentes y los resultados finales del trabajo realizado a lo largo del semestre.

Parámetro	Magnitud
Dientes driver	12
Dientes driven	15
Pitch cadena	0.50"
Center distance	

Tabla 2.4: Datos de la transmisión por sprockets

Parámetro	Magnitud
C	20.7042
S	27
D	3
K	0.23
Length (pitches)	54.92
Length (55 pitches)	

Tabla 2.5: Resultados para la transmisión por sprockets

2.2 Problema y Propuestas

2.2.1. Delimitantes del problema

Como el mecanismo se va a montar sobre un vehículo existente al cual se le busca hacer el menor número de modificaciones posibles es necesario tener en cuenta algunas dimensiones actuales del vehículo, particularmente las que están cerca del mecanismo de la dirección. Además ya se seleccionó un motor de corriente directa para la aplicación y los datos necesarios del motor también se muestran en el documento presente.

El chasis del vehículo es una armadura de PTR de aluminio de 1"x1"x1/8" soldados para formar la estructura mostrada en la siguiente imagen, en donde también se muestran las dimensiones de mayor interés para nuestro proyecto.

A la altura de 346 mm mostrada en la imagen anterior se encuentra una chumacera de la que sale la flecha a la que está montado el volante con el que se conduce la dirección del vehículo. Las dimensiones de la chumacera se muestran a continua-

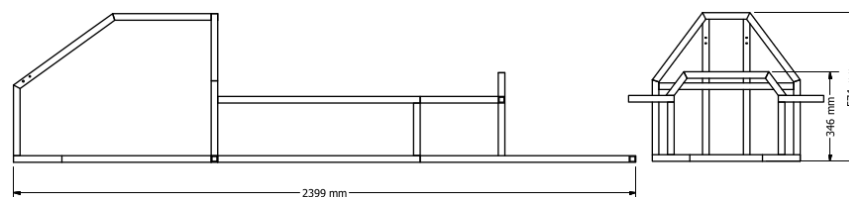


Figura 2.2: Vistas lateral y frontal del vehículo



Componente	No. de parte	Cantidad	Precio unitario
Engrane 18 dientes	S2418 (Martin)	2	300.00
Engrane 72 dientes	S2472 (Martin)	2	980.00
Sprocket 12 dientes	41B12 (Martin)	1	174.00
Sprocket 15 dientes	41B15 (Martin)	1	194.88
Cadena	Roller chain ANSI no. 40	1	290.00
Balero	6203-1/2 2RS	3	50.00
Balero	608-2RS 8-22-7	1	25.00
Flecha	Acero 1018 1/2"	1	8.00
Flecha	Acero 1018 3/8"	1	5.00
Flecha	Acero 1018 1/2"	1	12.25
Flecha	Acero 1045 1"	1	117.60
Solera	Acero 1018	1	232.00

Tabla 2.6: Componentes utilizados en el mecanismo de dirección y sus precios.

Criterios	Parámetro	Meta	Importancia	C1	C2	C3	C4	C5
Ergonomía	Comodidad	Aceptable	2	3	3	9	9	1
Espacio ocupado	CC	<64000	8	3	3	9	9	3
Estabilidad	altura (cm)	0	9	9	9	1	1	9
Manufacturabilidad	Complejidad	Baja	5	9	3	3	9	1
Conveniencia montaje	Complejidad	Baja	4	3	1	3	3	9
Eficiencia de transmisión	% out/in	Alta	10	3	3	9	3	9
Ponderación				198	160	216	186	238
Lugar relativo				3	5	2	4	1

Tabla 2.7: Resultados de la evaluación.

ción.

La intención del proyecto actual es utilizar la misma chumacera y de ser posible la misma flecha, cortándola para ponerle un sprocket y así acoplarla a la transmisión de nuestro mecanismo para controlar la dirección eléctricamente. Después de una selección escogimos el motor DAYTON 900-3140-050. La apariencia y los parámetros del motor para nuestra aplicación se muestran a continuación:

*Tabla 1. Parámetros de interés del motor DAYTON 900-3140-050.

Siguiendo la decisión de mantener la flecha actual para no afectar el resto del mecanismo, remover el volante, cortarla y ponerle un sprocket para acoplarla a nuestra transmisión, los datos de interés del sistema dirección actual se muestran a continuación:

*Tabla 2. Algunos parámetros de interés del mecanismo de dirección. *NOTA: Estas mediciones se realizaron con el vehículo tripulado y en reposo, la fuerza necesaria disminuiría si el vehículo no estuviera tripulado y aumentaría al querer cerrar más una vuelta al estar en movimiento porque habría una fuerza centrífuga que empujaría las llantas hacia afuera.

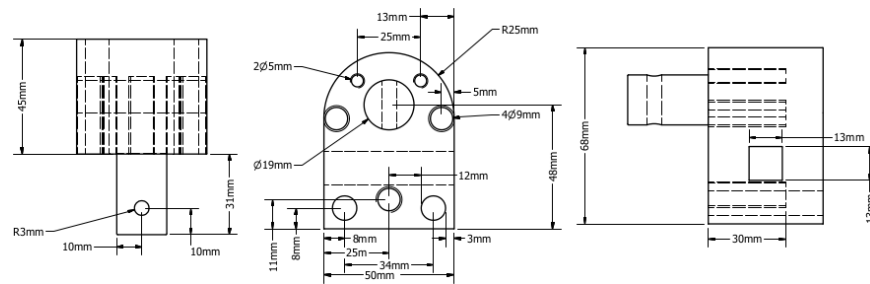


Figura 2.3: Vistas superior, lateral y frontal de la chumacera



Figura 2.4: Motor DAYTON 900-3140-050



2.2.2. Propuestas evaluadas

Motor horizontalmente:

El motor se encuentra horizontalmente sobre la superficie del VAS, requiere de dos sprockets para la transmisión de su potencia uno situado en su flecha y otro en la del mecanismo de dirección.

C1: Piñón y cremallera rectos

La cremallera se pone con los dientes hacia abajo, permitiendo a la flecha del motor impulsarla desde abajo con un mecanismo de transmisión adecuado. El movimiento se transmite a las llantas por unas barras que están unidas por medio de una articulación esferoidal a unos tornillos en los extremos de la cremallera. Es el más similar a la dirección actual (Figura 5).

*Figura 5. Dirección piñón-cremallera, dirección actual.

C2: Articulado

El movimiento se transmite a las llantas por unas barras unidas a un eslabón con articulaciones esferoidales que se hace girar impulsado por el motor y una transmisión intermedia (Figura 6).

*Figura 6. Dirección articulada.

Motor Verticalmente:

El motor se encuentra montado de tal manera que su flecha se encuentra de manera vertical subsubsectionC3: Piñón y cremallera rectos La cremallera se pone con los dientes hacia el frente o la parte posterior del vehículo, permitiendo a la flecha del motor ser impulsada mediante un mecanismo de transmisión adecuado. El movimiento se transmite a las llantas por unas barras que están unidas por medio de una articulación esferoidal a unos tornillos en los extremos de la cremallera.

C4: Articulado

El movimiento se transmite a las llantas por unas barras unidas a un eslabón con articulaciones esferoidales que se hace girar impulsado por el motor y una transmisión intermedia.

Motor horizontalmente, cadena: C5: Motor horizontal, tren de engranajes y sprockets

El movimiento se transmite a las llantas por unas barras unidas a un eslabón con articulaciones esferoidales que se hace girar impulsado por el motor y una transmisión intermedia.



2.3 Evaluación de propuestas

2.3.1. Variables a Evaluar

- Ergonomía: Posición en la que se encontrará el conductor.
- Espacio ocupado.
- Estabilidad: El motor se encuentra montado sobre soportes que resistan al peso del mismo y a las vibraciones del VAS.
- Manufacturabilidad: Complejidad del diseño de las piezas involucradas.
- Conveniencia de montaje: estará medidas en la cantidad de modificaciones mecánicas que habrán que hacerse al VAS.
- Eficiencia de transmisión.

2.3.2. Listado de Conceptos

- C1: Horizontal- Piñón y cremallera rectos
- C2: Horizontal- Articulado
- C3: Vertical- Piñón y cremallera rectos
- C4: Vertical- Articulado
- C5: Horizontal - Tren engranajes y sprocket

*Tabla 3. Simbología de ponderación para la evaluación. *Tabla 4. Resultados de la evaluación.

2.4 Concepto Ganador

La evaluación de conceptos arrojó como mejor opción al concepto número cinco (Tabla 4). Simplificadamente se podría decir que se estará cambiando el volante por el sprocket del nuevo mecanismo.

2.4.1. Diseño conceptual

Tomando en cuenta las restricciones espaciales se llegó a una propuesta como la que se mostró en la Figura 7. El cuadro representa al motor, en cuya flecha va el primero de los dos pares iguales de engranajes del pequeño tren de engranajes de la solución. En la salida de dicho tren de engranajes se coloca un sprocket que transporta la potencia hasta la altura deseada. Los detalles de los componentes seleccionados se pueden encontrar en la siguiente sección de este documento. El uso de sprockets se hizo pensando en que la cadena haría sencillo subir la potencia hasta la dirección del vehículo, en contraste con el uso de engranes, para los que seguramente



hubiéramos tenido que proponer muchos más componentes o acercar el motor a la flecha de la dirección. Esto tiene, además de la ventaja de aprovechar el mecanismo existente, la ventaja de que el motor y los componentes de reducción quedan a la altura de la base del vehículo, que es la ubicación más firme que podrían tener.

Figura 7. Diagrama conceptual de la solución ganadora. Esta es una solución que cumple satisfactoriamente con las limitantes del problema y decidimos implementarla siguiendo los resultados que obtuvimos de nuestro proceso de selección de conceptos.

2.5 Selección de Componentes Mecánicos

2.5.1. Diseño de reducción

De la definición del problema se obtiene que la relación de reducción de velocidad del sistema es de 20:1.

$$*RPMINRPMOUT=1800/90=20$$

La reducción seleccionada entre los componentes de la transmisión de la Figura 7 se muestra en la siguiente tabla:

*Tabla 5. Reducción a través de los componentes de la transmisión

En la tabla anterior se demuestra que se cumple con la relación de reducción que se quiere tener en el problema y se observa que el torque de salida es tres veces el torque necesario para hacer girar el vehículo cuando hay una persona en él y éste no está en movimiento. Además, en la Figura 7 de la transmisión propuesta se observa que la solución cumple con las restricciones espaciales del problema.

2.5.2. Proceso de selección de engranes

La primera recomendación en el catálogo de Browning es para el número mínimo e ideal de dientes. El mínimo, para el ángulo de presión de 14.5° es de 16 y el ideal es de 20. Nuestra selección fue de 18.

*Tabla 6. Recomendaciones para el número de dientes.

Nosotros buscamos una razón de reducción de velocidad de 4:1 y no tenemos restricción de distancia entre centros porque nosotros vamos a hacer el mecanismo final. Por lo tanto solamente tenemos que buscar la relación de 4:1 y ver las combinaciones posibles. Nosotros usamos la opción de 18 y 72 dientes con un pitch diametral de 24.

*Tabla 7. Distancias entre centros y pitch diametrales para las razones de reducción 4:1.

*Tabla 8. Acercamiento a la opción seleccionada.

Para tomar la decisión de los 18 y 72 dientes con pitch diametral de 24 se utilizó la siguiente tabla, con el conocimiento de que tenemos una velocidad de 1800 RPM en el engrane pequeño y que nuestra potencia de diseño es de 1/3 HP (utilizando un factor de servicio de 2).

*Tabla 9. Selección del pitch diametral para engranes de 14.5° de ángulo de presión.



Otra tabla que se tiene que considerar a la hora de seleccionar los engranes es la que dice la capacidad de potencia (power rating) de distintos engranes (dientes, pitch diametral y velocidad de trabajo) y se muestra a continuación.

*Tabla 10. Capacidad de disipación de potencia de diferentes engranes a distintas velocidades.

Finalmente se selecciona el engrane en el catálogo de Browning.

*Tabla 11. Catálogo de Browning para los engranes de interés.

Y, finalmente, se busca la parte equivalente en Martins.

*Tabla 12. Catálogo de Martins para los engranes de interés.

2.5.3. Proceso de selección de sprockets

Se siguieron los pasos para la selección de sprockets que se muestran a continuación:

*Figura 8. Pasos para seleccionar sprockets en el catálogo de Morse.

Como al salir del tren de engranes ya se tiene una relación de reducción de 16 y se busca una relación de reducción de 20 los sprockets deben de tener una relación de reducción de 1.25. La combinación de sprockets más pequeños con esta reducción es de 12 y 15.

*Tabla 13. Relaciones de reducción para distintos números de dientes

*Figura 9. Pasos para obtener el número de eslabones de la cadena.

*Tabla 14. K correspondiente para cada D.

Resolviendo lo anterior con nuestros datos:

*Tabla 15. Datos de nuestra transmisión por sprockets.

Se obtienen los siguientes resultados:

*Tabla 16. Resultados para nuestra transmisión por sprockets.

*Tabla 17. Factores de servicio en sprockets.

Se verifican las capacidades de disipación de potencia (power rating) para las velocidades a la que se utilizarán los sprocket en la siguiente tabla. El sprocket de 12 dientes girará a una velocidad de 112.5 RPM y el de 15 dientes a 90 RPM. No hay aplicaciones en la tabla que se parezcan a la nuestra pero tuvimos en mente que la aplicación es tipo B por ser de motor eléctrico y para estas aplicaciones un factor de servicio de 1.6 es alto (cubre todas las aplicaciones mostradas en la tabla menos una). Usando un factor de servicio de 1.6 la potencia de diseño sería de $1.6/6 = 0.26667$ HP.

*Tabla 18. Capacidad de disipación de potencia de diferentes sprockets a distintas velocidades.

Después de verificar el power rating se procede a buscar la matrícula de la pieza deseada en el catálogo de Morse.

*Tabla 19. Opciones de sprockets si se utilizara marca Morse.

Y, finalmente, se busca la parte equivalente en Martins.

*Tabla 20. Opciones de sprockets marca Martins.



2.6 Lista de componentes

A continuación se muestra un concentrado de los componentes que se utilizarán en la transmisión, con las matrículas según la nomenclatura de Martins (donde aplique) y los precios por unidad.

*Tabla 21. Componentes utilizados y sus precios.

Para la selección de los engranes y los sprockets se siguieron los procesos de selección de Emerson y posteriormente, por cuestiones de presupuesto, se buscaron y seleccionaron componentes similares en el catálogo de Martins.

2.7 Conclusiones

La selección de un proyecto útil se basa en la identificación de una necesidad y su función en el problema que debe de resolver, esto da las bases para crear una serie de diseños conceptuales que traigan consigo la solución óptima del problema planteado.

Gracias a la metodología empleada de selección de diseños, se evaluaron individualmente cada uno de ellos por medio de parámetros de interés y un grado de importancia para cada variable a evaluar. El método arrojó un diseño que cumple mejor con cada uno de los requerimientos.

En nuestro proyecto, se remarca la importancia de la organización, para lo que resulta muy útil la implementación de un diagrama Gantt donde se ve la participación de cada uno de los integrantes del equipo en cada una de las tareas a desempeñar.

La selección de elementos mecánicos es una parte esencial en nuestro proyecto, en donde se seleccionaron los elementos que cumplieran con nuestros requerimientos, sin embargo, por razones de presupuesto realizamos algunas modificaciones en nuestra selección que, tal vez no es la más óptima, pero cumplirá con los requerimientos y solución del problema.

Capítulo 3

Electrónica

Capítulo 4

Software

4.1 Comunicación

4.2 Microcontroladores

4.2.1. Instalación del toolchain

Al elegir las herramientas para trabajar con los microcontroladores seleccionados (PIC18F26K80) intentamos utilizar las herramientas oficiales de Microchip. Esto es importante mencionarlo porque difiere de lo utilizado en el curso de Microcontroladores de la UDEM (en el cual se utiliza mikroC, un IDE con compilador incluido que esconde más cosas al usuario y que no es gratuito). Las herramientas seleccionadas y utilizadas son: IDE MPLAB X y compilador XC8. Ambas herramientas son lo más reciente de Microchip y es lo que promueven entre los desarrolladores que utilizan sus productos.

MPLAB X y XC8

Históricamente Microchip desarrolló MPLAB completamente “in-house”, pero la versión MPLAB X está basado en NetBeans de Oracle. El desarrollo sigue en activo y hay características que no han sido migradas o no funcionan correctamente en MPLAB X que sí funcionaban en versiones anteriores. Sobre esto hay muchas discusiones y comentarios negativos de usuarios en los foros, sin embargo al probar la versión más reciente se encontró que la funcionalidad necesaria funcionaba correctamente. Un efecto lateral de que MPLAB X esté basado en NetBeans es que se puede ejecutar en Windows, Mac y Linux.

En cuanto al compilador, el compilador XC de Microchip que le corresponde al PIC utilizado es el compilador XC8. Este producto tiene una versión gratuita (que produce código más lento y grande que la versión PRO) y se puede activar una prueba de 60 días de la versión PRO. Alternativas gratuitas –no probadas– existentes incluyen: sourceboost C (enlista el PIC18F26K80 como compatible) y SDCC (la página dice que el soporte para la familia PIC18 es trabajo en progreso).

PICKit2

En cuanto a la programación de los PICs (escribir el programa a la memoria interna) se optó por seguir usando PICKit2. Microchip ya lanzó una nueva herramienta (PICKit3), pero la versión 2 sigue siendo la más popular entre los usuarios (con comentarios nada aislados de que la versión 3 es considerablemente más lenta) y se pueden encontrar en el mercado circuitos de terceros que implementan el protocolo de PICKit2 a un costo mucho menor que las herramientas de Microchip. El



problema con usar la herramienta anterior es que Microchip dejó de agregar los nuevos dispositivos al DeviceFile.dat del software para programarlos, para que los desarrolladores migraran a usar PICkit3.

El PIC18F26K80 no es soportado por PICkit2 oficialmente. Por lo tanto, este microcontrolador no se puede programar directamente desde MPLAB X. Sin embargo hay una herramienta no oficial para modificar el archivo DeviceFile.dat y después de buscar en internet se encontró una versión modificada que incluye el PIC18F26K80. Este archivo se debe reemplazar del que viene incluido en el software de PICkit2 para poder programar los microcontroladores.

Enlaces de descarga

- MPLAB X:
<http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/family/mplabx/>
- XC8:
<http://www.microchip.com/pagehandler/en-us/devtools/mplabxc/home.html>
- PICkit2:
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/PICkit%20%20v2.61.00%20Setup%20A.zip>
- DeviceFile.dat:
<https://www.dropbox.com/s/ys1g41bcvhihju0/PK2DeviceFile.dat?dl=0>

4.2.2. Estructura

- El código específico a cada proyecto se encuentra en el archivo main.c.
- El archivo config.h tiene los valores que se escriben en los registros de configuración del microcontrolador y se indica que PIC se está usando (`#include <p18F2K80.h>`).
- Los archivos de ECAN (.c, .def, .h) son las rutinas de un AppNote de Microchip para utilizar este periférico. El archivo ECAN.def debe ser compartido por todos los nodos puesto que ahí se determina la velocidad a la que se está transmitiendo la información en el bus CAN.

4.2.3. VAS_ACCEL

Código fuente

https://github.com/paguiar/udem_vas/tree/master/pic/accel

Descripción general

El programa traduce los valores discretos recibidos por CAN o UART (esto se determina definiendo el macro CAN o UART respectivamente) a un valor de PWM que va al servomotor de la aceleración.



Comunicación

Si se está trabajando por UART el programa funciona a través de interrupciones en su totalidad. Cuando la bandera de que se recibió un mensaje por UART se dispara el mensaje se lee, se interpreta la máscara para saber si el comando iba dirigido a este PIC y, de ser el caso, se copia el valor a la variable `hmi_state_buffer`. Si se detecta un comando de “reset” se carga el valor inicial a `hmi_state_buffer`. En `hmi_state_buffer` se almacena el valor discreto recibido para ser utilizado en el momento apropiado. Si se está utilizando CAN el programa funciona utilizando polling. De igual manera se recibe un valor, se interpreta la máscara y se almacena en la variable `hmi_state_buffer`.

PWM

El servomotor utilizado requiere un pulso de PWM de baja frecuencia, el periférico del PIC no puede generar estos pulsos trabajando a 8 MHz con ninguna combinación de prescalers ni otras configuraciones. Para generar estos pulsos se programó una lógica de un PWM de tres fases, esta lógica tiene las siguientes características:

- En el código se les llamó PWM_VAR1 (variable 1), PWM_VAR2 (variable 2), PWM_LOW.
 - Los nombres de VAR1 y VAR2 vienen de que estas fases son las que pueden cambiar.
 - La fase de PWM_LOW siempre está en estado lógico bajo.
- El principio de funcionamiento es que cuando el timer dispara la interrupción se configura la fase siguiente a la que acaba de iniciar.
 - Cuando el timer se dispara al terminar VAR1 se configura LOW (LOW es la fase siguiente a VAR2, que es la que acaba de iniciar).
 - Cuando se dispara al terminar VAR2 se configura VAR1.
 - Cuando se dispara al terminar LOW se configura VAR2.
 - Esto es así porque cuando el timer se dispara la configuración que estaba almacenada pasa a ser la activa.
- `hmi_state_buffer` se copia en `hmi_state` cuando se configura VAR1 (empezará un nuevo periodo).
- La fase PWM_LOW es la más larga, cuando se configura esta fase también se configura el postscale del microcontrolador para que no se generen interrupciones cada vez que el timer termina (ver datasheet).
- Los registros necesarios se leen de una matriz declarada estáticamente.
 - El número en `hmi_state` se utiliza para acceder al valor apropiado en la matriz.
 - Para determinar los valores se creó y utilizó una hoja de cálculos: (<https://docs.google.com/spreadsheets/>



- Es necesario entender la lógica utilizada para utilizar la hoja de cálculos y modificar el código (ver datasheet, estudiar código fuente), la solución implementada es óptima.

4.2.4. VAS_BRAKE

Código fuente

https://github.com/paguiar/udem_vas/tree/master/pic/

Descripción general

Este programa es igual al de VAS_ACCEL, las únicas diferencias son:

- La máscara para discriminar si el mensaje iba dirigido a este PIC
- Los valores de los registros que se utilizan para llenar la matriz duty_table
 - Estos se calcularon para el freno con la hoja de cálculos mencionada en la sección de VAS_ACCEL.
 - Los valores no son los mismos porque el servomotor está en otra posición y necesita moverse en otro rango de ángulos.

4.2.5. VAS_RASPI

Código fuente

https://github.com/paguiar/udem_vas/tree/master/pic/raspi

Descripción

- Este programa tiene la tarea de recibir información del Raspberry por UART y enviarla por CAN.
- La recepción de UART se hace en la rutina de interrupción.
- Se detecta máscara que indica que es un valor de la dirección.
 - El valor de la dirección se recibe en dos partes.
 - Primero se discrimina entre qué parte se esta recibiendo para marcar la bandera correspondiente.
 - Se reconstruye el número en un solo byte.
- Si se recibe cualquier otro valor se almacena en un buffer.
- Cuando hay un valor de dirección listo se envía por CAN.
- Cuando hay algún valor en el buffer de envío se envía por CAN.
- Aquí también el CAN es implementado por polling.
- Este es el programa más sencillo.



4.2.6. VAS_STEER

Código fuente

https://github.com/paguiar/udem_vas/tree/master/pic/steer

Descripción

- Este programa lee la posición reportada por el shaft encoder.
 - La posición es recibida en varios puertos por lo que se debe reconstruir el valor.
 - Las posiciones no están ordenadas y, por lo tanto, se tienen que recuperar de una lookup table.
- Hay lookup tables para:
 - shaft: el index es el valor leído del encoder y contiene la posición angular correspondiente.
 - linemap: el index es el ángulo de la línea y contiene la posición angular del encoder buscada.
 - ina e inb: los valores logicos en los pines para el puente H.
 - speed_table: son los valores de PWM duty que se envían al puente H para controlar la velocidad. Nota: nunca debe de usarse un duty de 100
- Se usan macros para las funciones debido a que no se pueden hacer inlines con el compilador utilizado.
- Actualmente el programa implementa un control On-Off
 - Si la posición del encoder está a la derecha de la posición deseada, se hace girar el motor a la izquierda.
 - Si esta a la izquierda se gira a la derecha.
 - Se hace esto para todas las velocidades, a manera de prueba.

4.3 TCP server para HMI

4.4 Visión

Capítulo 5

Control

Apéndice A

Title of Appendix A

Bibliografía

- [1] S.-C. Chang, "Synchronization in a steer-by-wire vehicle dynamic system," *International Journal of Engineering Science* 45, pp. 628–643, May 2007.
- [2] M. Silva, L. Garrote, F. Moita, M. Martins, and U. Nunes, "Autonomous electric vehicle: Steering and path-following control systems," *Electrotechnical Conference (MELECON), 2012 16th IEEE Mediterranean*, pp. 442–445, March 2012.
- [3] T.-J. Park, C.-S. Han, and S.-H. Lee, "Development of the electronic control unit for the rack-actuating steer-by-wire using the hardware-in-the-loop simulation system," *Mechatronics. The Science of Intelligent Machines.*, vol. 15, no. 8, pp. 899–918, May 2005.
- [4] B.-H. Nguyen and J.-H. Ryu, "Direct current measurement based steer-by-wire systems for realistic driving feeling," *Industrial Electronics, 2009. ISIE 2009. IEEE International Symposium on*, pp. 1023–1028, July 2009.
- [5] R. Murugan, S. Nandakumar, and M. Mohiyadeen, "Dsp-based electric power assisted steering using bldc motor," *Sadhana*, vol. 33, no. 5, pp. 581–590, October 2008.
- [6] S. Fahami, H. Zamzuri, S. Mazlan, and M. Zakaria, "Modeling and simulation of vehicle steer by wire system," *Humanities, Science and Engineering Research (SHUSER), 2012 IEEE Symposium on*, pp. 1765–770, June 2012.
- [7] L. Qiang and H. Ren, "Modeling and simulation study of the steer by wire system using bond graph," *Vehicular Electronics and Safety, 2005. IEEE International Conference on*, pp. 7–11, October 2005.
- [8] H. Chen and J. Tian, "Research on the controller area network," *2009 International Conference on Networking and Digital Society. IEEE.*, pp. 251–254, 2009.
- [9] W. L. Ng, C. K. Ng, N. K. Noordin, F. Z. Rokhani, and B. M. Ali, "Home appliances controller using wireless controller area network (wcan) system," *International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE 2010)*, May 2010.
- [10] C. Shin, "A framework for fragmenting/reconstituting data frame in controller area network (can)," *2014 16th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT)*, pp. 1261–1264, February 2014.
- [11] Pérez-Trejo, M. L., A., and H. González, "Implementación del software divyx en el laboratorio de mecánica," *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 2, no. 3, pp. 268–274, September 2008.
- [12] L. Xu and E. Oja, "Randomized hough transform," *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, vol. 3, pp. 1354–1361, 2009.



- [13] B. Ross, K. Konarzewski, P. Jayakumar, R. Jategaonkar, and W. Smith, "Development of high fidelity mobility simulation of an autonomous vehicle in an off-road scenario using integrated sensor, controller and multi-body dynamics," *2011 NDIA Ground Vehicle Systems Engineering and Technology Symposium*, August 2011.
- [14] R. Abe, H. Isobe, and Y. Yamashita, "Simulator in a virtual space for autonomous robot and vehicle," *1999 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1999. IEEE SMC '99 Conference Proceedings.*, vol. 6, pp. 625–630, October 1999.
- [15] U. Farooq, J. Gu, M. Amar, and M. Asad, "A 2d simulator for vision based autonomous road following," *2013 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 2696–2702, December 2013.