



2016 CONTROLA DAY TWO

Quadcopter Testbed Development using ATmega128

Yang, Yuyoung



Contents

- 01 Introduction
- 02 Attitude control System
- 03 PD Control
- 04 Testbed
- 05 Final Test
- 06 Future Plans

01 Introduction

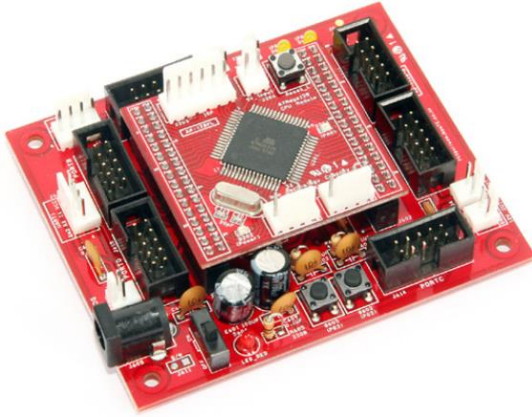
Research Objectives



- Quadcopter Attitude Control implementation.
- Attitude control test using the Testbed.

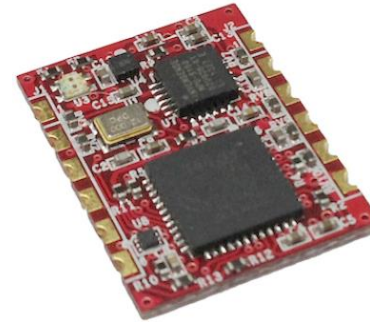
01 Introduction

부품설명



AVR MEGA 128

- 보드에 내장된 시리얼 포트로 디버깅
- 외부전원 12V 입력, 내부동작 5V 단일 전원 사용
- A,B,C,D,E,F,G 포트는 커넥터로 인터페이스 보드 또는 사용자 개발보드와 연결
- 클럭 발생 회로는 16MHz 크리스탈 발진기 사용



myAHRS

- 오일러, 가속도, 자이로, 지자계, 온도 데이터 측정
- UART, USB, I2C 인터페이스 제공

01 Introduction

부품설명



F450 V2 프레임

- Frame Weight : 282g
- Diagonal Wheelbase : 450mm
- 전원보드타입



BX2212 920KV,
DYS 30A SimonK ESC

- Weight : 28g
- 11.1V 일때 10200 rpm
- 9.4 x 4.3 프로프 11.1V 5000mAh 배터리 사용시 최대 런타임 18분

- Weight : 14.5g
- Outout PWM Frequency : 18KHz
- Input voltage : 2~6s Lipo

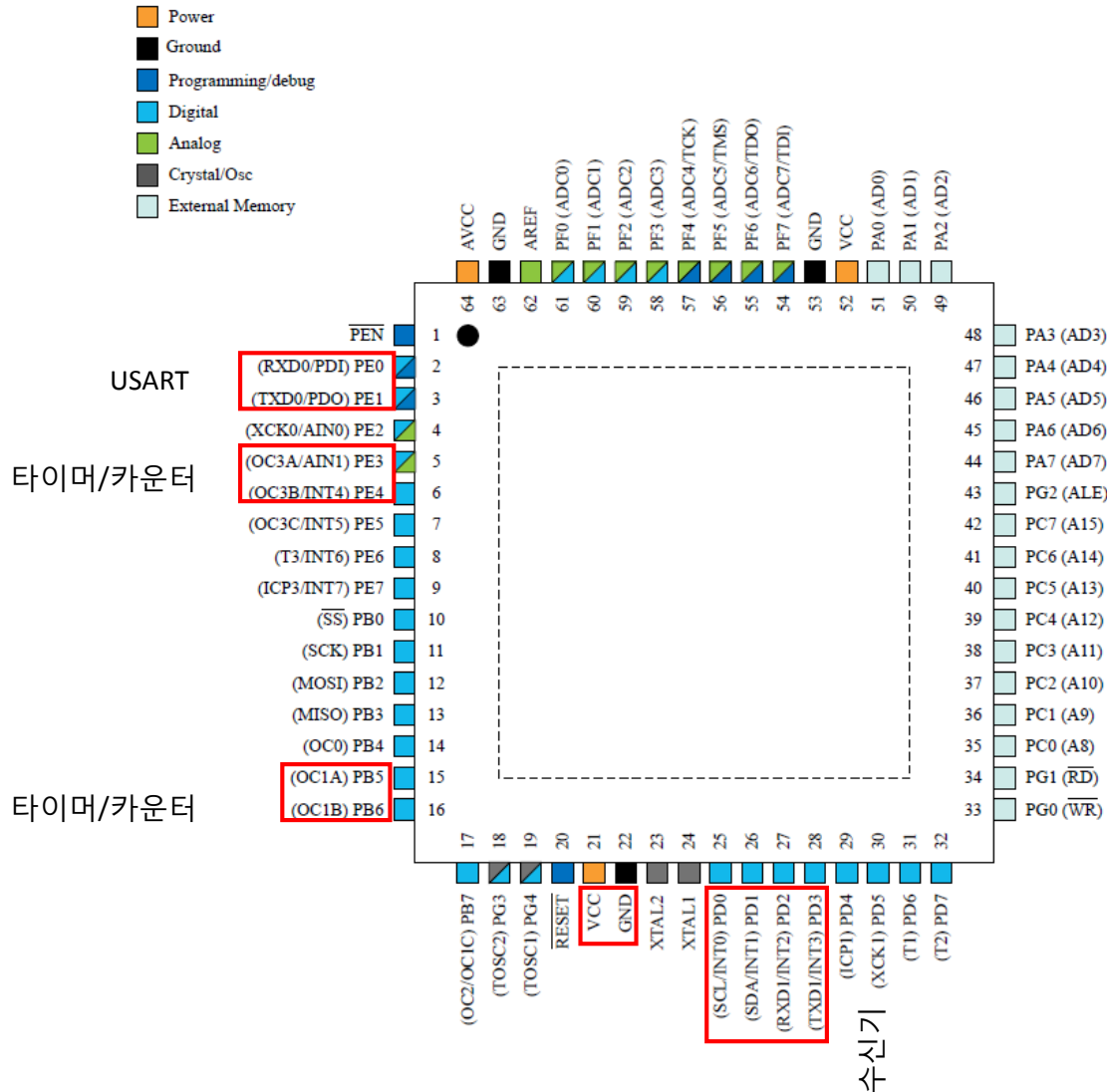


9.4 x 4.3 프로프

- 팬텀 2용 프로프

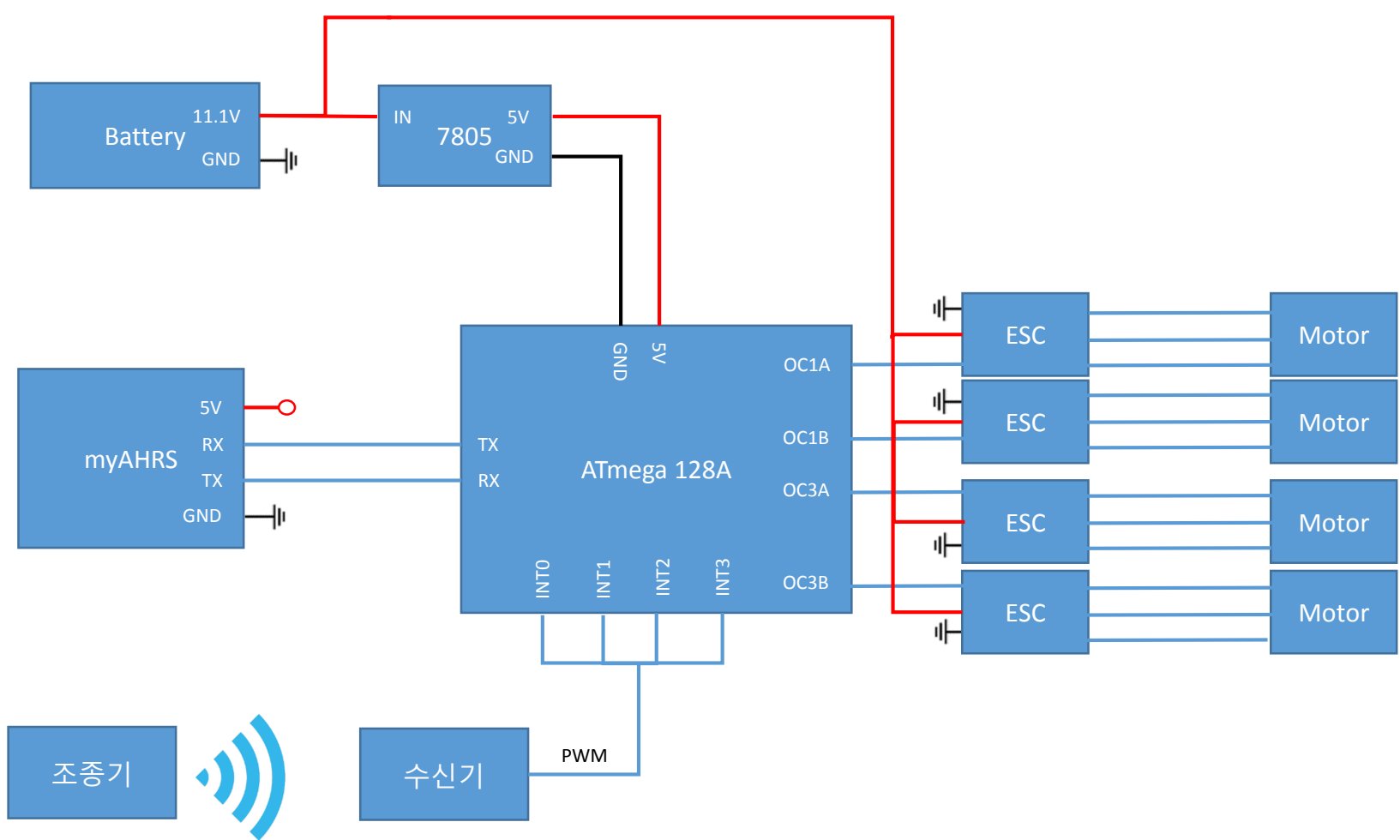
01 Introduction

Pinout ATmega 128A



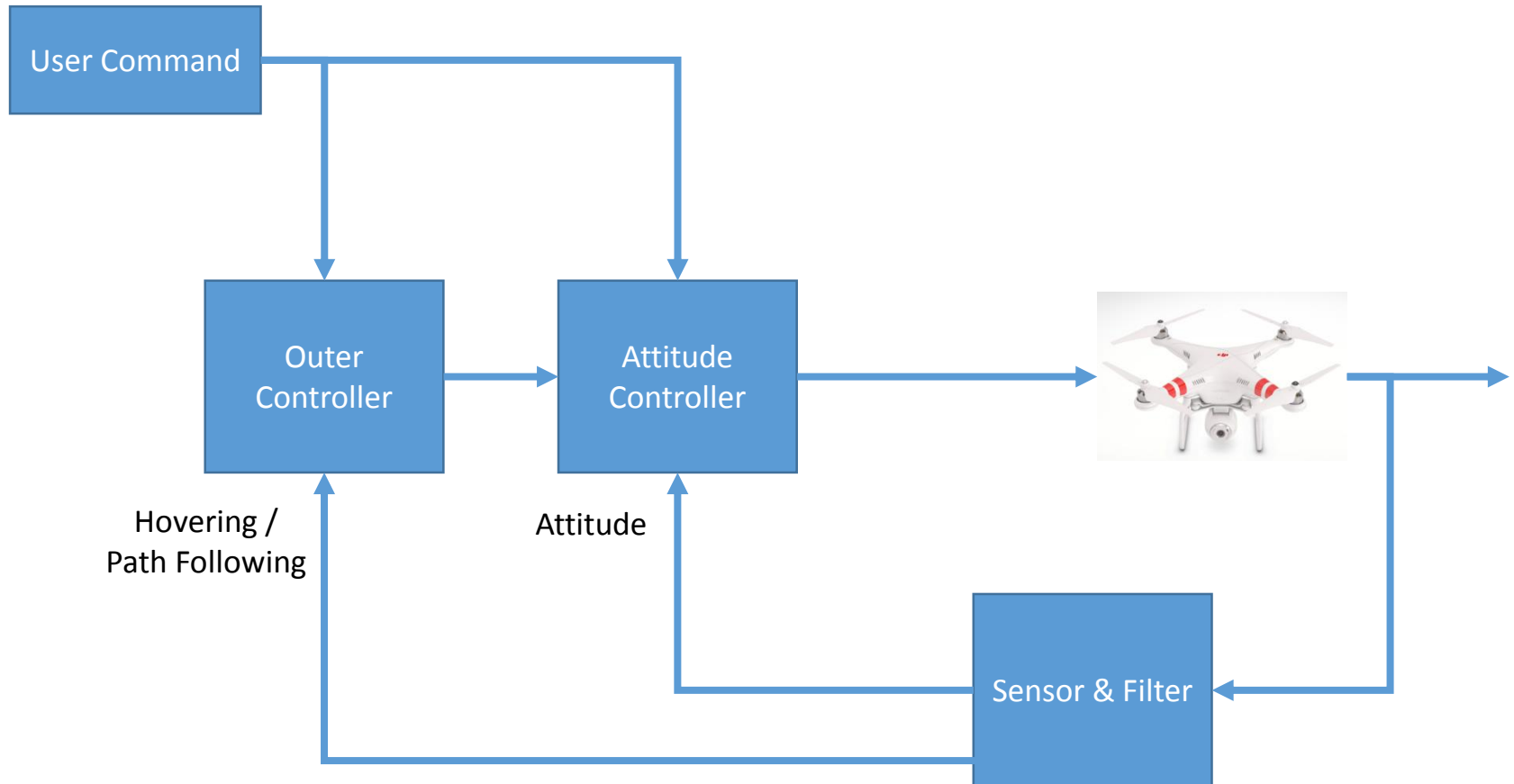
01 Introduction

Hardware Interface



01 Introduction

Control System



02 Attitude control System

USART Features



Atmega 128의 직렬통신 포트

- 직렬통신포트 USART 2개 내장
 - Universal Synchronous and Asynchronous Receive and Transmitter)
 - USART0, USART1
- 완전 이중방식(Full - Duplex)
 - RX, TX 단에서 동시에 양방향 송수신 가능
- 동기 / 비동기 전송 가능
- 높은 정밀도의 보레이트 발생기(Baud Rate Generator) 내장
- 사용 인터럽트
 - 송신회로(TX Complete)
 - 송신 데이터 레지스터 준비완료(TX Data Register Empty)
 - 수신완료(RX Complete)
- 한번에 최소 7bit ~ 13bit로 구성됨

02 Attitude control System

USART Data Frame Format



- St (Start bit)
 - : 1bit, 항상 0(논리) 값을 가진다. 송신 시 자동적으로 생성
- 5,6,7,8,9 (Data bit)
 - : 5 ~ 9 bit 크기로 전송 가능
- P (Parity bit)
 - : 사용시 홀수 / 짝수 Parity bit로 작용
- Sp1, Sp2 (Stop bit)
 - : 1bit, 혹은 2bit로 설정 가능하며 항상 1(논리) 값을 가진다. 송신 시 자동적으로 생성

02 Attitude control System



USART Register

- UDRn
 - USART I/O Data Register n
 - UDR0, UDR1 등의 데이터를 저장 (버퍼 역할)

7	6	5	4	3	2	1	0
RXB7	RXB6	RXB5	RXB4	RXB3	RXB2	RXB1	RXB0
TXB7	TXB6	TXB5	TXB4	TXB3	TXB2	TXB1	TXB0

- UDRn Register -

- UDSRnA~C
 - USART Control and Status Register n A~C
 - USART 제어 및 상태를 나타내는 레지스터
 - USART0, 1 각각 A~C까지 있음

7	6	5	4	3	2	1	0
RXCn	TXCn	UDREn	FEn	DORn	PEn	U2Xn	MPCMn
7	6	5	4	3	2	1	0
RXCIEn	TXCIEn	UDRIEn	RXENn	TXENn	UCSZn2	RXB8n	TXB8n
7	6	5	4	3	2	1	0
-	UMSELn	UPMn1	UPMn0	USBSn	UCSZn1	UCSZn0	UCPOLn

- UDSRnA~C Register -

- UBRRnH/L
 - USART Baud Rate Register
 - USART 보 레이트 값 저장

15	14	13	12	11	10	9	8
-	-	-	-	UBRRn	UBRRn	UBRRn	UBRRn
7	6	5	4	3	2	1	0
UBRRn7	UBRRn6	UBRRn5	UBRRn4	UBRRn3	UBRRn2	UBRRn1	UBRRn0

- UBRRnH/L Register -

02 Attitude control System

Low Pass Filter



$$\bar{x}_k = \alpha \bar{x}_{k-1} + (1 - \alpha) \bar{x}_k \quad (1)$$

식 (1)에서 직전 추정 값 \bar{x}_{k-1} 는

$$\bar{x}_{k-1} = \alpha \bar{x}_{k-2} + (1 - \alpha) \bar{x}_{k-1} \quad (2)$$

식 (1)에 대입,

$$\begin{aligned} \bar{x}_k &= \alpha \bar{x}_{k-1} + (1 - \alpha) \bar{x}_k \\ &= \alpha \{ \alpha \bar{x}_{k-2} + (1 - \alpha) \bar{x}_{k-1} \} + (1 - \alpha) \bar{x}_k \\ &= \alpha^2 \bar{x}_{k-2} + (1 - \alpha) \bar{x}_{k-1} + (1 - \alpha) \bar{x}_k \end{aligned} \quad (3)$$

측정 데이터 (\bar{x}_{k-1} , \bar{x}_k)에 곱해진 계수를 비교하면,

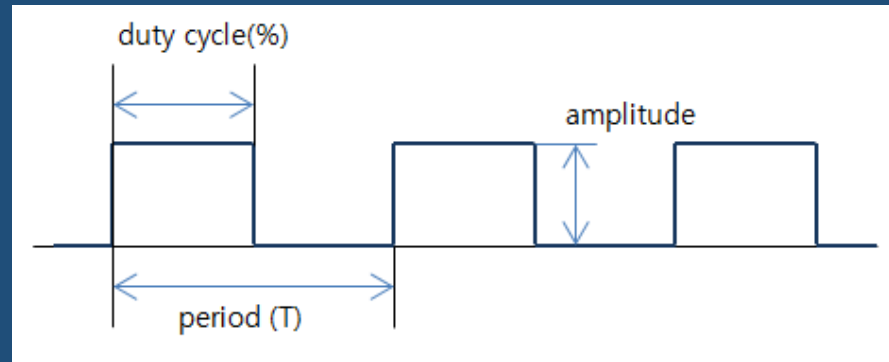
$$\alpha(1 - \alpha) < 1 - \alpha$$

02 Attitude control System

PWM Definition



- Pulse Width Modulation
- 펄스 폭을 전송하고자 하는 신호에 따라 변화시키는 변조 방식
- LED 밝기 조절, 모터 회전속도 제어 등에 사용



- 펄스 신호 -

- 진폭 (amplitude) : TTL 레벨(5V)로 결정이 되어있으므로 일정
- 주기 (period) : 주파수의 역수 ($1/f$)이며, 고정된 값 사용
- 듀티비 (duty cycle) : 전체 주기에서 신호가 있는 구간의 비율을 나타냄
 - 신호가 없으면, 듀티비는 0
 - 펄스가 없이 항상 "1"인 상태는 100

02 Attitude control System

PWM Register



- TCNTn
 - Timer/Counter n Register
 - 16bit 레지스터 값을 저장

- OCRnA~C
 - Timer/Counter n Output Compare Register
 - 출력 비교 레지스터(TCNT1/3와 계속적 비교)
 - 두 레지스터 값 일치 시, 설정된 값이 출력

- ICRn
 - Timer/Counter n Input Captur Register
 - 입력 캡처 레지스터
 - 입력 캡처시 TCNTx의 카운터 값을 저장

- TCCRnA~C
 - Timer/Counter n Control Register A~C
 - 제어 레지스터
 - 타이머의 동작 방식 설정

7	6	5	4	3	2	1	0
COMnA1	COMnA0	COMnB1	COMnB0	COMnC1	COMnC0	WGMn1	WGMn0

7	6	5	4	3	2	1	0
ICNCn	ICESn	-	WGMn3	WGMn2	CSn2	CSn1	CSn0

7	6	5	4	3	2	1	0
FOCnA	FOCnB	FOCnC	-	-	-	-	-

- TCCRnA~C Register -

02 Attitude control System

PWM Behavior



- 타이머/카운터 TCNT Register를 통해 PWM신호를 출력하기 위한 시간 측정
- 외부에 연결된 수정 진동자(xtal)에서 발생된 특정 주파수의 클럭이 한번씩 들어올 때마다 TCNT는 업카운트 또는 다운카운트
- 특정 값(TOP)에 의해 PWM 신호 출력 핀인 OC가 HL(1) 또는 LO(0)으로 바뀌어 한 주기의 PWM 신호가 출력
- PWM신호 주파수는 TCNT의 외부 클럭의 주파수와 TCNT의 카운트 수를 이용해 구함

$$f_{OCnxpwm} = \frac{f_{clk_{I/O}}}{N \cdot (1 + TOP)}$$

$f_{OCnxpwm}$: 고속 PWM모드일때 OC에 출력되는 PWM의 주파수

$f_{clk_{I/O}}$: 외부에서 입력되는 클럭의 주파수

TOP : 카운터가 실제로 도달하는 최대값
16bit 타이머/카운터를 사용할 경우 $2^{16}-1$

N : 클럭 수를 나누는 분주비



02 Attitude control System

PWM Operation Mode

- TCNTn는 반복적으로 업카운팅하며 항상 0x0000~TOP의 값을 가짐
- TCNTn의 값이 TOP 값과 일치되면 그 다음 사이클에서 0으로 클리어
- TCCRxB 레지스터의 WGMx3~0 비트를 5,6,7,14,15로 설정
- 모드별 TOP 값

동작모드	5	6	7	14	15
TOP 값	0x00FF	0x01FF	0x03FF	ICR1	OCR1A

Mode	WGMn3	WGMn2 (CTCn)	WGMn1 (PWMn1)	WGMn0 (PWMn0)	Timer/Counter Mode of Operation ⁽¹⁾	TOP	Update of OCRnx at	TOVn Flag Set on
0	0	0	0	0	Normal	0xFFFF	Immediate	MAX
...								
8	1	0	0	0	PWM, Phase and Frequency Correct	ICRn	BOTTOM	BOTTOM
9	1	0	0	1	PWM, Phase and Frequency Correct	OCRnA	BOTTOM	BOTTOM
10	1	0	1	0	PWM, Phase Correct	ICRn	TOP	BOTTOM
11	1	0	1	1	PWM, Phase Correct	OCRnA	TOP	BOTTOM
12	1	1	0	0	CTC	ICRn	Immediate	MAX
13	1	1	0	1	(Reserved)	-	-	-
14	1	1	1	0	Fast PWM	ICRn	TOP	TOP
15	1	1	1	1	Fast PWM	OCRnA	TOP	TOP

- 동작모드 -

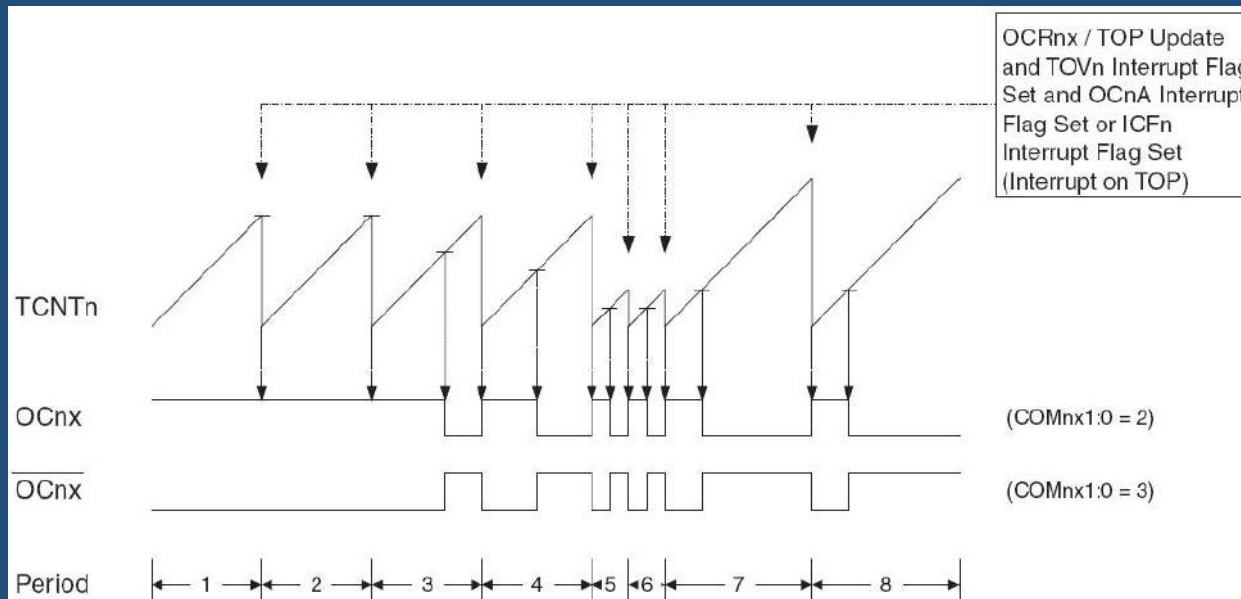
02 Attitude control System

PWM Operation Mode



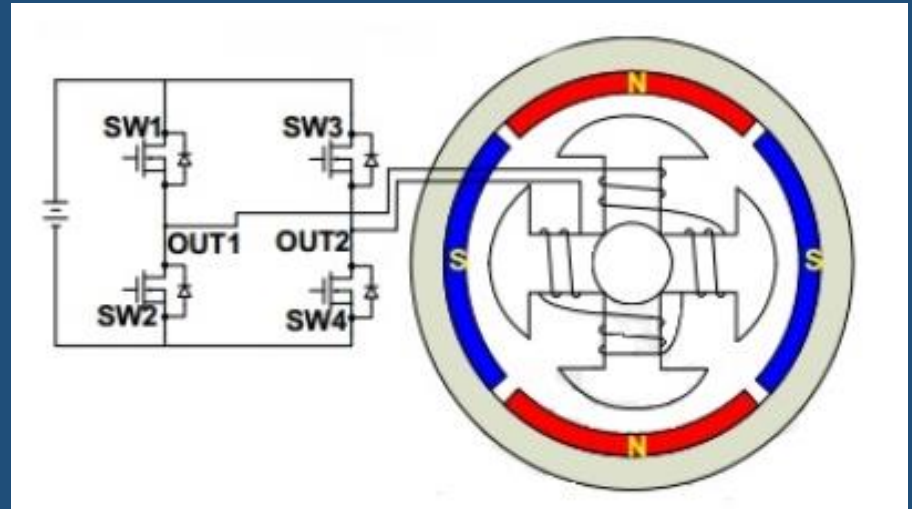
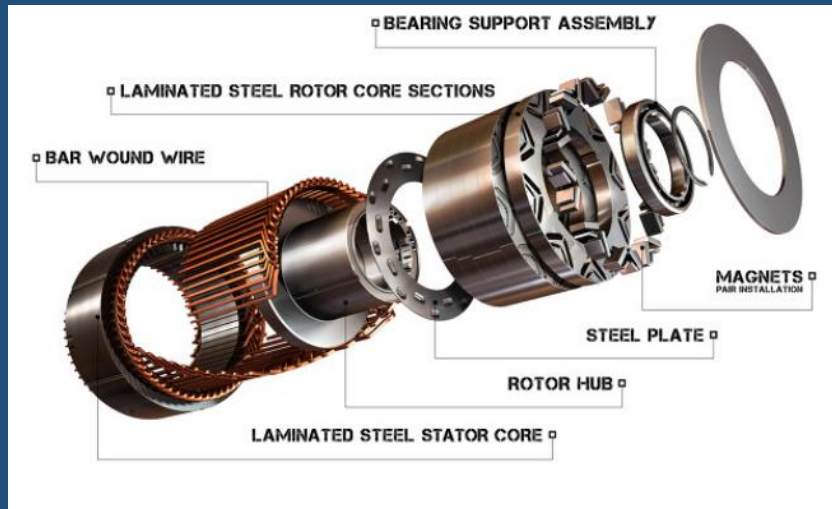
- OCRnx 레지스터의 값에 따라 High 또는 Low 부분의 펄스폭이 결정되어 PWM의 파형 출력
- N은 분주비로 1, 8, 64, 256, 1024의 값을 가짐

$$f_{OCnxpwm} = \frac{f_{clk_{I/O}}}{N \cdot (1 + TOP)}$$



02 Attitude control System

Brushless DC Motor



- 브러시가 없어 반영구적인 수명
- 토크가 높으며 효율이 우수
- 냉각효과 우수 - 열악한 환경에서도 동작
- 작은 소음

- 전류를 어느 때 변환할지 결정하기 위해 Rotor Position Feedback을 사용하여 전자적으로 정류함
- 고정자 권선은 거의 균일한 자속 밀도를 생성하는 회전자에 영구 자석과 함께 작동



03 PD Control

PD Controller for the Quadcopter

$$e(t) = x_d(t) - x(t)$$
$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt}$$

	상승시간	오버슈트	정착시간	정상상태 오차
K_P	감소	증가	미세변화	감소
K_I	미세감소	증가	증가	없애줌
K_D	감소	감소	감소	미세변화

$u(t)$: control input

$x_d(t)$: desired state

$x(t)$: present state

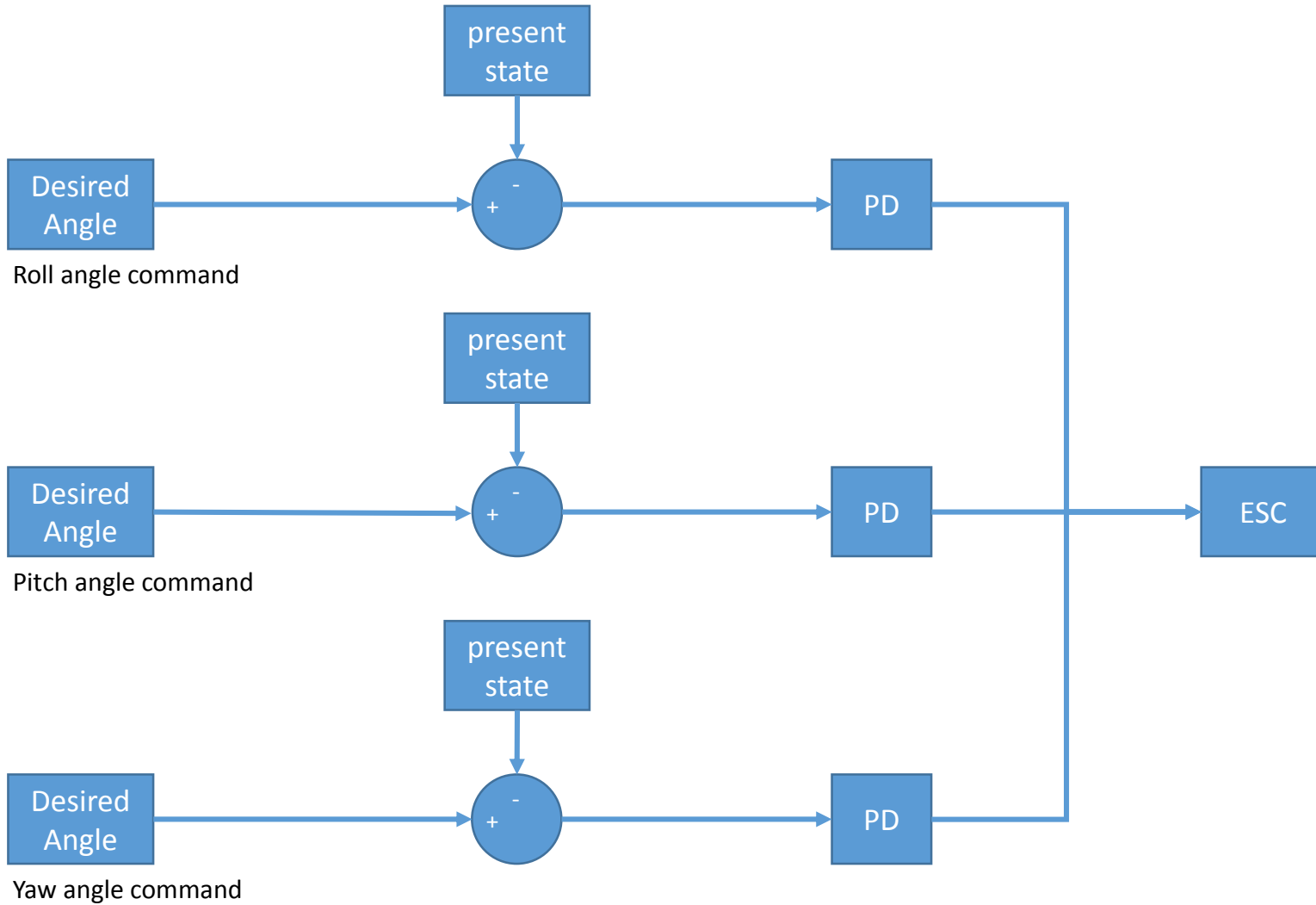
$e(t)$: the difference between $x_d(t)$ and $x(t)$

K_P, K_I, K_D : proportional, integral, derivative



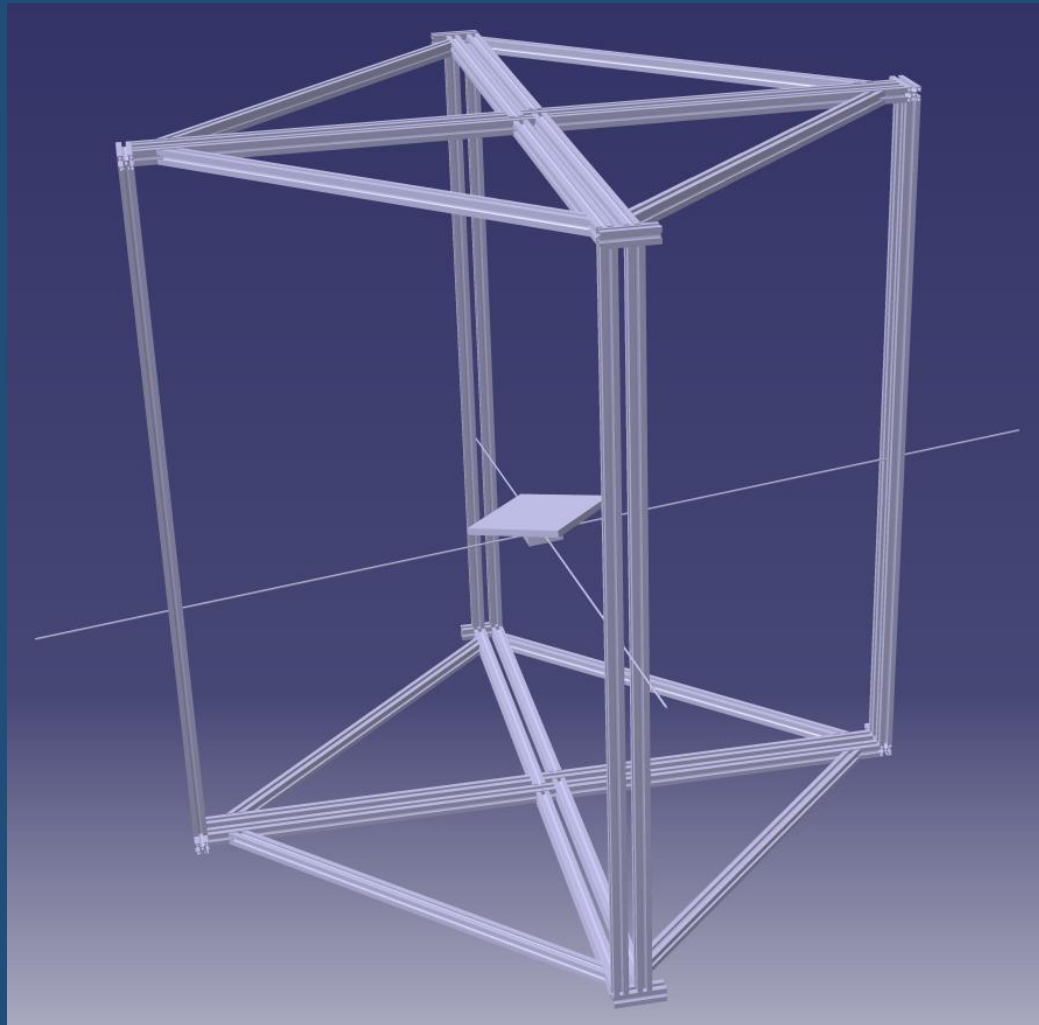
03 PD Control

Modeling and Control Block Diagram



04 Testbed

CATIA Modeling



05 Final Test



06 Future Plans



Quadcopter attitude control implementation

Quadcopter position control implementation

THANK YOU

