

2023年全國大專校院智慧創新暨跨域整合創作競賽

作品設計測試文件

一. 系統名稱

災難救助遙測機器人(D2RSR)

二. 系統目的與範圍

市面上的「災難救助機器人」功能強大，但由於此類別並非消費級產品，其價格通常高昂且不透明。以某消防機器人450萬元為例，它是少數有明確價格的案例，如此高昂的價格使得現階段的災難救助機器人產品難以大規模普及，使得例如火災救助、地震災後救援等場景仍然大量仰賴人力，持續造成救難人員的傷亡，本團隊的初衷是建立一個功能強大且足夠便宜的機器人控制系統，使得救援行動更加精確、迅速，從而扭轉當前「災難救助機器人」無法普及的現況。

D2RSR基於開源系統[ROS\(Robot Operating System\)](#)開發，是專為災害應對設計的遙控感測機器人系統，由控制系統與至少一台機器人載具構成，提供救難人員救援現場的即時全景影像與地圖，提升救援行動的效率。

本團隊的目標是建立一個開源系統，不受特定硬體的限制，只要硬體相容於ROS系統，它便能成為D2RSR的載具。受益於其開源且易移植的特性，D2RSR展現了強大的競爭潛力，以本團隊選擇的硬體為例，成本僅為4萬5千元，與競品相距百倍。

本系統的目的：

1. 提升救援效率：本系統提供多項即時資訊，使救難人員能準確掌握現場情況，減少人員傷亡的風險。
2. 降低成本：基於開源的ROS系統和通用硬體，目標是將災害救助機器人的成本降至極低，使其可以更廣泛地被運用於救援行動。
3. 降低使用門檻：提供友善的人機介面，以降低救援人員的使用門檻。
4. 開源系統：本系統鼓勵社群參與和貢獻，進一步加速新技術投入應用。

系統非功能需求	
非功能需求編號	非功能需求描述
D2RSR-NF-001	操控載具的總延遲小於100毫秒
D2RSR-NF-002	即時影像串流延遲小於200毫秒，fps可達40
D2RSR-NF-003	即時環景生成及串流總延遲小於500毫秒，fps可達24
D2RSR-NF-004	即時環景協同即時人物辨識，總延遲小於500毫秒
D2RSR-NF-005	所有模組均遵循ROS Message傳輸協議
D2RSR-NF-006	影像統一使用MJPEG格式串流

系統功能需求	
功能需求編號	功能需求描述
搖桿控制(Joy Control)	
D2RSR-FR-JC-01	使用者可選擇無線或有線作為連接方式
D2RSR-FR-JC-02	使用者可透過搖桿控制載具方向和速度
D2RSR-FR-JC-03	使用者可以透過搖桿控制啟停載具保護
D2RSR-FR-JC-04	使用者可以透過搖桿控制影像視角切換
D2RSR-FR-JC-05	使用者可以透過搖桿控制環景視角旋轉
載具保護(Vehicle Protection)	
D2RSR-FR-VP-01	可能發生碰撞時系統會強制載具減速
D2RSR-FR-VP-02	即將發生碰撞時系統會強制載具停止
串流影像(Streaming Video)	
D2RSR-FR-SV-01	系統分別提供六個攝影機的即時影像
D2RSR-FR-SV-02	系統提供攝影機影像融合的即時環景
D2RSR-FR-SV-03	系統紅框醒目標記即時環景出現的人

地圖繪製(Map Plotting)	
D2RSR-FR-MP-01	載具可以依照當前環境繪製地圖
使用介面(User Interface)	
D2RSR-FR-UI-01	使用介面可選擇觀看影像或地圖
D2RSR-FR-UI-02	使用介面可以控制影像視角切換
D2RSR-FR-UI-03	使用介面可以控制載具繪製地圖
D2RSR-FR-UI-04	使用介面提示當前載具保護狀態

一般性的系統功能操作使用案例(Use case, UC)之劇本(Scenario)描述如下。

搖桿控制(Joy Control)	
使用案例編號：D2RSR-UC001	使用者案例名稱：搖桿控制
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 <u>ROS節點</u> ¹ (搖桿接收、車體控制)	
	b. 使用者使用搖桿控制載具
c. server接收到搖桿訊號並轉換成ROS中的 <u>cmd_vel</u> ² 訊號	
d. 將 <u>cmd_vel</u> ² 的訊號傳到載具上	
e. 載具接收到訊號並移動	

載具保護(Vehicle Protection)

使用案例編號：D2RSR-UC002	使用案例名稱：避障功能
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 ROS節點 ¹ (光達、車體控制、搖桿接收、避障)	
	b. 使用者使用搖桿控制載具
	c. 當載具靠近障礙物
d. 系統接收到光達訊號得知有障礙物	
e. 網頁根據訊號顯示障礙物位置	
f. 載具減速或停止移動	

串流影像(Streaming Video)	
使用案例編號：D2RSR-UC003	使用者案例名稱：即時影像監控
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 ROS節點 ¹ (開啟攝影機、影像校正)	
	b. 查看網頁上的實時監控

使用案例編號：D2RSR-UC004	使用案例名稱：影像視角切換
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 ROS節點 ¹ (搖桿接收)	
	b. 使用者藉由搖桿（十字鍵的左右）控制監控畫面
c. 網頁收到搖桿訊號	
d. 網頁影像切換至上(十字鍵左)或下(十字鍵右)一張	

使用案例編號：D2RSR-UC005	使用案例名稱：環景影像旋轉
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 ROS節點 ¹ (搖桿接收、開啟攝影機、影像校正、環景)	
	b. 使用者藉由搖桿（右邊蘑菇頭）控制網頁
c. 網頁收到搖桿訊號	
d. 環景影像視角旋轉	

使用案例編號：D2RSR-UC006	使用案例名稱：物件辨識
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 ROS節點 ¹ (開啟攝影機、環景)	
b. 啟動物件辨識程式	
c. 網頁顯示環景影像並用紅框標記出人	

地圖繪製(Map Plotting)	
使用案例編號：D2RSR-UC007	使用案例名稱：開啟地圖繪製
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 ROS節點 ¹ (接收指令、光達)	
	b. 使用者在網頁上點擊啟動鍵
c. 系統接收指令，開啟 gmapping ³ 繪製地圖	
d. 網頁抓取地圖並顯示	
	e. 查看網頁上顯示的地圖

使用案例編號：D2RSR-UC008	使用案例名稱：關閉地圖繪製
系統反應動作	使用者操作動作
a. 啟動對應 ROS節點 ¹ (接收指令、光達)	
	b. 當使用者在網頁上點擊關閉鍵
c. 系統接收指令，關閉 gmapping ³	
	d. 網頁上地圖關閉

使用者介面(User Interface)

使用案例編號：D2RSR-UC009	使用案例名稱：網頁使用
系統反應動作	使用者操作動作
a. 開啟網頁	
	b. 使用者在網頁上的導航選單點擊"首頁"
c. 網頁切換到首頁	
	d. 使用者在網頁上的導航選單點擊"實時監控"
e. 網頁切換到實時監控（6台攝影機監控）	
	f. 使用者點擊實時監控的頁面中"切換"的按鈕
g. 網頁切換單點監控模式或網格分割模式	
	h. 使用者在"單點監控模式"使用搖桿的十字鍵(左、右)
i. 網頁切換鏡頭	
	j. 使用者在網頁上的導航選單點擊"即時環景"

k. 網頁切換到即時環景（環景與物件辨識）	
	l. 使用者使用搖桿右邊的蘑菇頭控制視角
m. 環景視角移動	
	n. 使用者在網頁上的導航選單點擊"即時地圖"
o. 使用者在網頁上點擊"即時地圖"（地圖顯示）	
	p. 使用者點擊"即時地圖"中的開始按鈕
q. 開始繪製地圖並顯示在網頁上	
	r. 使用者點擊"即時地圖"中的關閉按鈕
s. 結束繪製地圖並關閉網頁上的地圖	
	t. 使用者點擊"即時地圖"中的前置攝影機開啟按鈕
u. 網頁上"即時地圖"頁面出現前置攝影機的影像	
	v. 使用者點擊"即時地圖"中的前置攝影機關閉按鈕

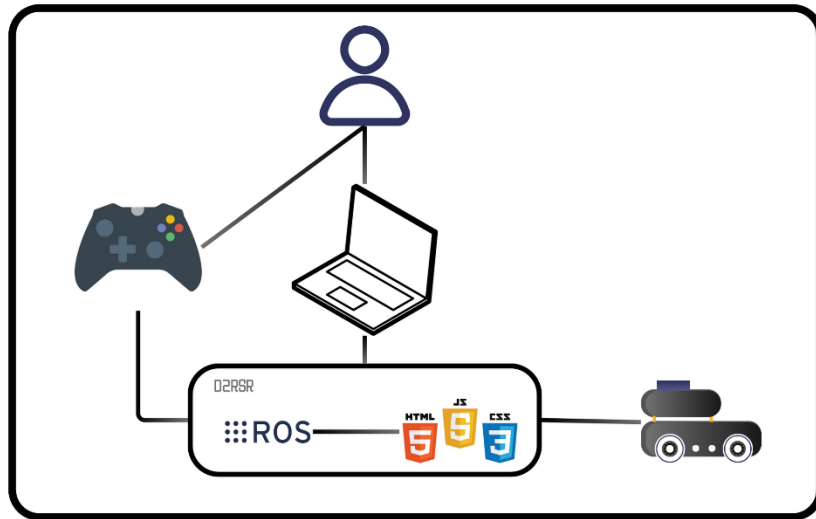
w. 網頁上"即時地圖"頁面關閉前置攝影機的影像	
--------------------------	--

Reference

1. ROS節點: <http://wiki.ros.org/Nodes>
2. cmd_vel: http://wiki.ros.org/Robots/TIAGo/Tutorials/motions/cmd_vel
3. gmapping: <http://wiki.ros.org/gmapping>

三. 系統架構設計

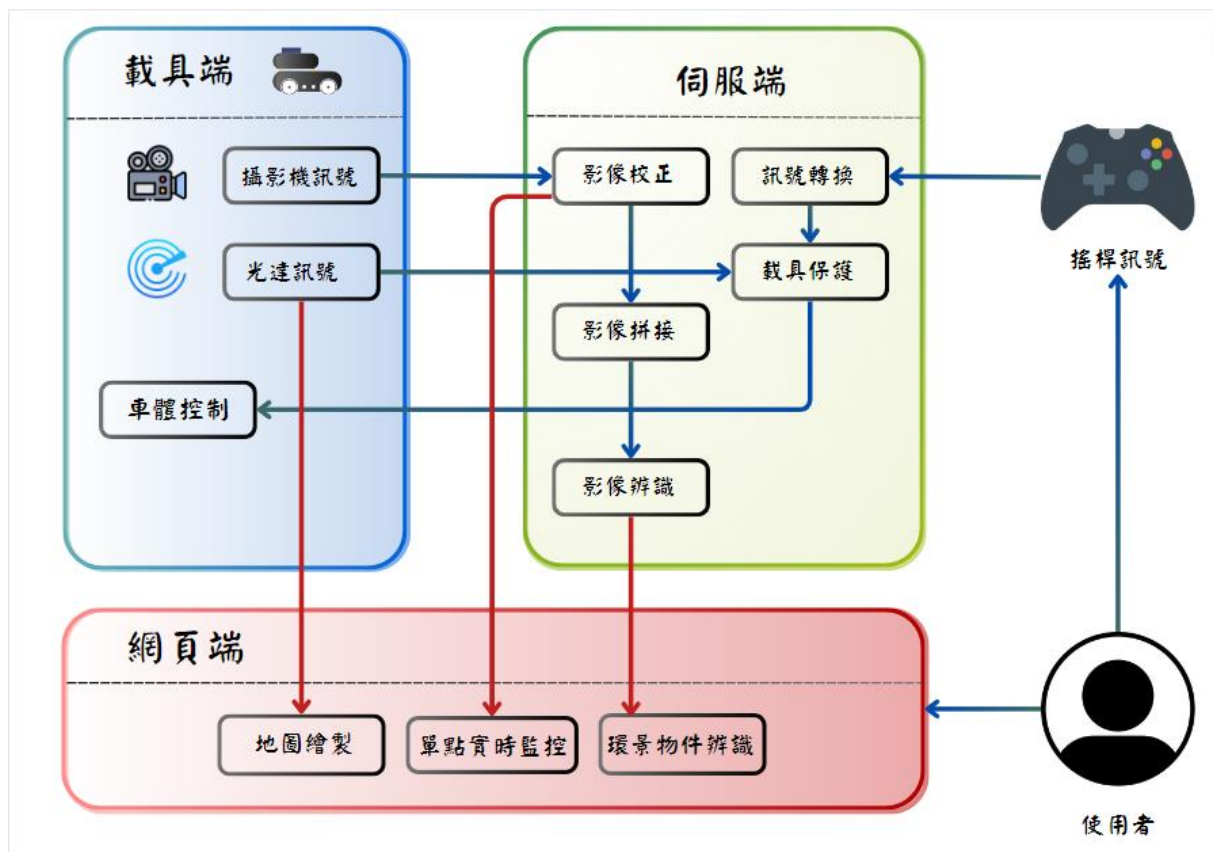
1. 高階系統圖：



- 使用者透過搖桿與電腦使用這個系統
- 網頁使用HTML5、CSS、JS實作
- 系統使用ROS Message協議傳送訊息

2. 系統內部架構：

系統功能圖：



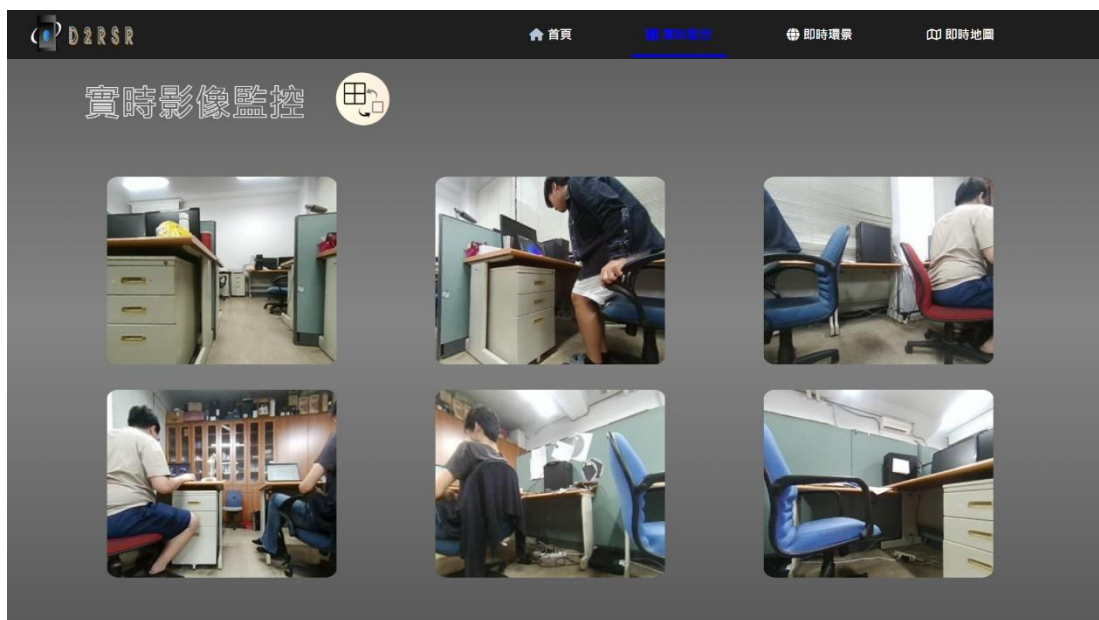
本圖表透過使用者視角，通過網頁端可以看到即時的地圖繪製、實時監控、環景影像辨識；通過搖桿，可以控制車體的移動、避障，也可以控制網頁的監控切換及環景旋轉。

四. 系統介面設計

A. 網頁首頁：



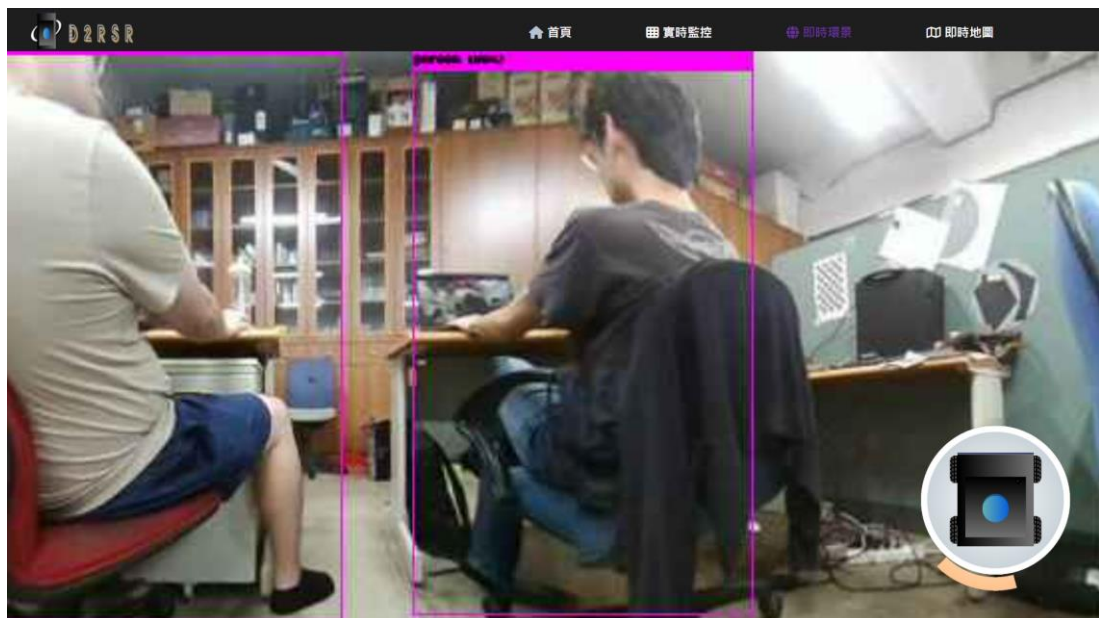
B. 實時監控(網格分割):



C. 實時監控(單點監控):



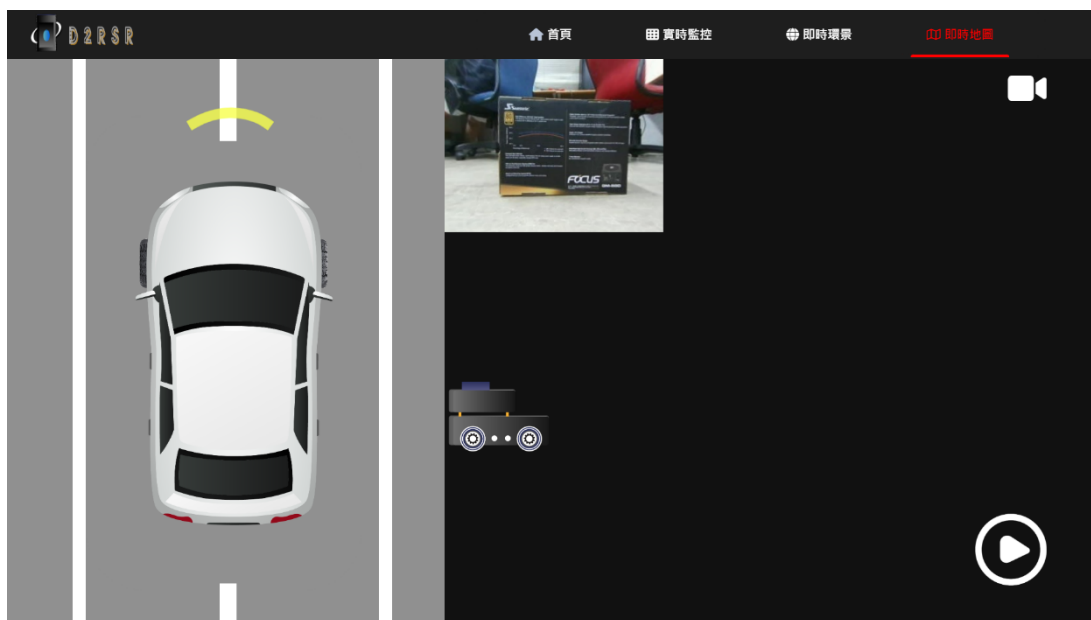
D. 即時環景:



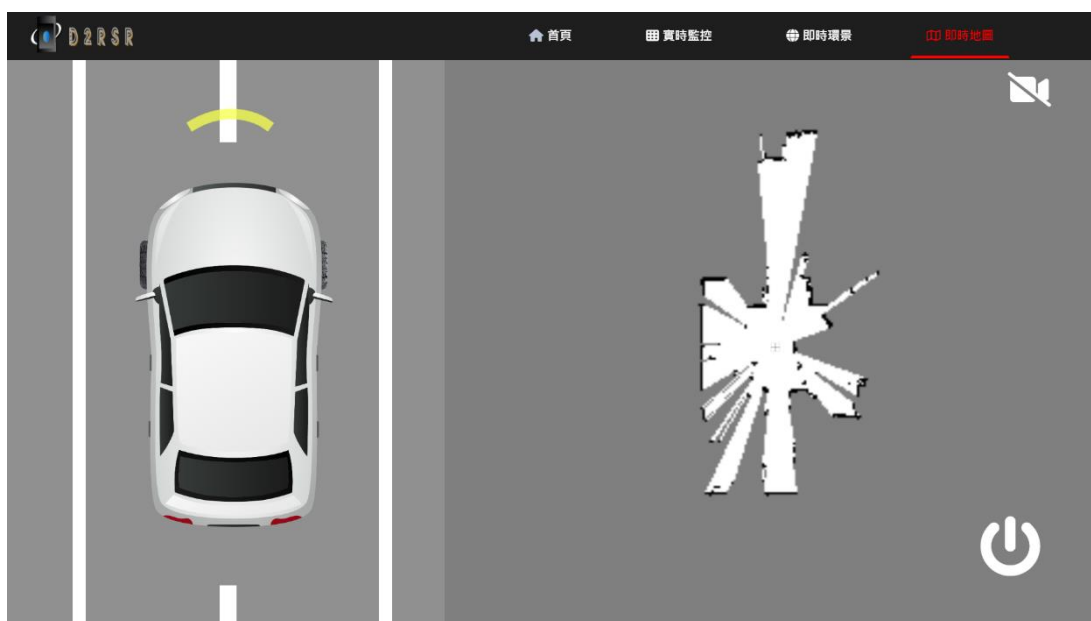
E. 即時地圖(無攝影機，無地圖):



F. 即時地圖(有攝影機，無地圖):



G. 即時地圖(無攝影機，有地圖):



H. 即時地圖(有攝影機，有地圖):



五. 軟體或硬體架構設計

1. 資料設計：

本系統各模組之間的資料傳遞皆遵循[ROS Message](#)協議，以下說明各模組傳遞的資料型態

欄位名稱	定義	型態
地圖訊號	傳送地圖訊息	nav_msgs/OccupancyGrid Message
搖桿訊號	傳送搖桿訊息	sensor_msgs/Joy
載體控制訊號	傳送載體控制訊息	geometry_msgs/Twist Message
光達訊號	傳送光達訊號	sensor_msgs/LaserScan Message

A. nav_msgs/OccupancyGrid Message 定義如下:

```
# This represents a 2-D grid map, in which each cell represents the probability of
# occupancy.

Header header

#MetaData for the map
MapMetaData info

# The map data, in row-major order, starting with (0,0).  Occupancy
# probabilities are in the range [0,100].  Unknown is -1.
int8[] data
```

B. sensor_msgs/Joy 定義如下:

```
# Reports the state of a joystick's axes and buttons.
Header header          # timestamp in the header is the time the data is received from the joystick
float32[] axes         # the axes measurements from a joystick
int32[] buttons        # the buttons measurements from a joystick
```

C. geometry_msgs/Twist Message 定義如下:

```
# This expresses velocity in free space broken into its linear and angular parts.
Vector3 linear
Vector3 angular
```

D. sensor_msgs/LaserScan Message 定義如下:

```
# Single scan from a planar laser range-finder
#
# If you have another ranging device with different behavior (e.g. a sonar
# array), please find or create a different message, since applications
# will make fairly laser-specific assumptions about this data

Header header          # timestamp in the header is the acquisition time of
                        # the first ray in the scan.
                        #
                        # in frame frame_id, angles are measured around
                        # the positive Z axis (counterclockwise, if Z is up)
                        # with zero angle being forward along the x axis

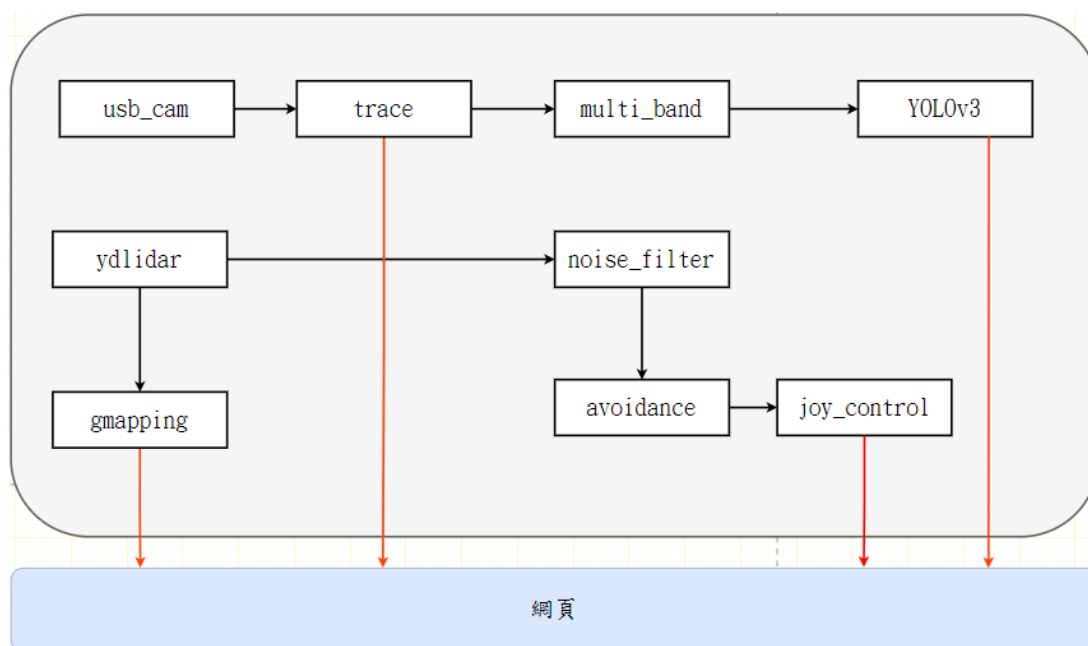
float32 angle_min      # start angle of the scan [rad]
float32 angle_max      # end angle of the scan [rad]
float32 angle_increment # angular distance between measurements [rad]

float32 time_increment  # time between measurements [seconds] - if your scanner
                        # is moving, this will be used in interpolating position
                        # of 3d points
float32 scan_time       # time between scans [seconds]

float32 range_min       # minimum range value [m]
float32 range_max       # maximum range value [m]

float32[] ranges        # range data [m] (Note: values < range_min or > range_max should be discarded)
float32[] intensities   # intensity data [device-specific units].  If your
                        # device does not provide intensities, please leave
                        # the array empty.
```

六. 軟體或硬體模組設計



Class Name	usb_cam
Category	C++
Module	usb_cam package
Description	讀入六台魚眼攝影機訊號並串流到網路
Relationship with other classes	trace
Traceability with use case	即時影像監控(D2RSR-UC003)

Class Name	trace
Category	C++
Module	video_stream package
Description	讀取網路的六台魚眼鏡頭畫面，進行 棋盤格標定法 ¹ ，分別串流到網路，並以ROS訊息傳送
Relationship with other classes	usb_cam multi_band
Traceability with use case	即時影像監控(D2RSR-UC003)

Class Name	multi_band
Category	C++
Module	video_stream package
Description	接收校正過的影像，使用 多頻帶融合 ² 技術製成一張環景影片並串流到網路
Relationship with other classes	trace YOLOv3
Traceability with use case	即時影像監控(D2RSR-UC003)

Class Name	YOLOv3
Category	C++
Module	darknet
Description	讀入環景影像使用 物件辨識 ³ 後串流到網路上
Relationship with other classes	multi_band
Traceability with use case	即時影像監控(D2RSR-UC003)、 物件辨識(D2RSR-UC006)

Class Name	ydlidar
Category	C++
Module	ydlidar package
Description	載具光達專用package，輸出ROS訊號
Relationship with other classes	Gmapping noise_filter
Traceability with use case	避障功能(D2RSR-UC002)

Class Name	gmapping
Category	C++
Module	my_gmapping package
Description	讀入光達數據之後將其轉換成地圖基本訊息並傳送到網頁顯示
Relationship with other classes	ydlidar
Traceability with use case	開啟地圖繪製(D2RSR-UC007)、關閉地圖繪製(D2RSR-UC008)

Class Name	noise_filter
Category	C++
Module	ydlidar_noise_filter package
Description	使用滑動窗格演算法過濾光達訊號，以ROS訊號輸出
Relationship with other classes	Ydlidar joy_control
Traceability with use case	避障系統(D2RSR-UC002)

Class Name	avoidance
Category	C++
Module	avoidance package
Description	接收過濾後的光達訊號，判斷是否達到減速或是停止標準，並以ROS訊號發布移動訊號
Relationship with other classes	joy_control noise_filter
Traceability with use case	搖桿控制 (D2RSR-UC001)、避障系統(D2RSR-UC002)

Class Name	joy_control
Category	C++
Module	joy_control package
Description	轉換搖桿訊號，結合避障發布移動訊號
Relationship with other classes	avoidance
Traceability with use case	搖桿控制 (D2RSR-UC001)、 避障系統(D2RSR-UC002)

Reference

1. 棋盤格標定法: https://docs.opencv.org/3.4/db/d58/group_calib3d_fisheye.html#ga0d37b45f780b32f63ed19c21aa9fd333
2. 多頻帶融合: <https://zhuanlan.zhihu.com/p/454085730>
3. 物件辨識: <https://github.com/ultralytics/yolov3>

七. 軟體或硬體開發環境

軟體		
作業系統	Ubuntu 18.04 LTS	
ROS系統	melodic	
前端開發語言	HTML5, JavaScript, CSS	
後端開發語言	C++, CMake, Python2.7~3.8	
機器學習框架	YOLOv3	
傳輸協議	ROS Message, HTTP	
硬體		
載具	ROSKY 智慧移動平台	× 1
攝影機陣列	RMONCAM 林柏視 G200	× 6
搖桿	Xbox 無線控制器	× 1

八. 系統測試案例設計

Identification	D2RSR-TC-01
Name	S彎控制測試
Tested Target	Joy_control
Reference	D2RSR-FR-JC-02、 D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 設置S型場地 2. 利用搖桿控制載具通過場地
Expected Result	不碰撞的情況下通過S型場地

Identification	D2RSR-TC-02
Name	載具防護測試
Tested Target	noise_filter、 avoidance
Reference	D2RSR-FR-VP-01、 D2RSR-FR-VP-02、D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、 D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 設置有障礙物的場地 2. 試圖用搖桿控制載具碰撞障礙物
Expected Result	載具會在障礙物前減速並停下

Identification	D2RSR-TC-03
Name	實時監控測試(含切換)
Tested Target	trace
Reference	D2RSR-FR-SV-01、 D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 網頁切換到實時監控畫面 2. 點擊切換(網格分割、單點監控) 3. 利用搖桿左邊的十字鍵切換單點監控視窗
Expected Result	網頁上出現6個攝影機的網格分割，點擊切換後搖桿控制切換單點監控視窗

Identification	D2RSR-TC-04
Name	環景影像測試(含旋轉)
Tested Target	multi_band、joy_control
Reference	D2RSR-FR-JC-04、 D2RSR-FR-SV-02、 D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、 D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 網頁切換到實時環景畫面 2. 利用搖桿右邊的蘑菇頭旋轉視角
Expected Result	網頁呈現環景影像並且可以用搖桿旋轉視角

Identification	D2RSR-TC-05
Name	人物標記測試
Tested Target	YOLOv3
Reference	D2RSR-FR-SV-03、 D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 網頁切換到實時環景畫面 2. 利用搖桿右邊的蘑菇頭旋轉視角
Expected Result	環景的影像中會用紅框標示出人的位置

Identification	D2RSR-TC-06
Name	低光源人物標記測試
Tested Target	YOLOv3
Reference	D2RSR-FR-SV-03、 D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 設置一個燈光昏暗的場地，為日間室內燈關全部關閉，同時利用遮光簾遮蔽所有窗戶，推測照度 < 300 lux 2. 網頁切換到實時環景畫面 3. 利用搖桿右邊的蘑菇頭旋轉視角
Expected Result	查看在昏暗場地下人物依舊有被紅框標示

Identification	D2RSR-TC-07
Name	地圖測試
Tested Target	gmapping
Reference	D2RSR-FR-MP-01、 D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 網頁切換到即時地圖畫面 2. 點擊開始繪製地圖 3. 點擊關閉繪製地圖
Expected Result	當點擊開始繪製地圖時，會開始繪製當前地圖，並呈現在網頁上，當點擊關閉繪製地圖，會停止繪製，網頁上也會關閉地圖

Identification	D2RSR-TC-08
Name	低光源地圖測試
Tested Target	gmapping
Reference	D2RSR-FR-MP-01、 D2RSR-FR-UI-01、 D2RSR-FR-UI-02、D2RSR-FR-UI-03、 D2RSR-FR-UI-04
Instructions	1. 設置一個燈光昏暗的場地，為日間室內燈關全部關閉，同時利用遮光簾遮蔽所有窗戶，推測照度 < 300 lux 2. 網頁切換到即時地圖畫面 3. 點擊開始繪製地圖 4. 點擊關閉繪製地圖
Expected Result	在燈光昏暗的場地，點擊開始繪製地圖時，會開始繪製當前地圖，並照常呈現在網頁上，當點擊關閉繪製地圖，會停止繪製，網頁上也會關閉地圖

九. 系統測試報告

1. 測試環境(Testing Environment)

A. 硬體需求(Hardware Specification Configuration)

	項次	名稱	數量	規格	
Server端	1	伺服器	1	處理器	AMD Ryzen™ 7 2700 X
				記憶體	16 GB
				顯示卡	GeForce GTX 1660
Client端	1	個人電腦	1	處理器	Intel ® Core ™i7-12500H
				記憶體	16 GB
				顯示卡	Intel® Iris® Xe
載具端	1	ROSKY	1	處理器	Quad-core ARM A57
				記憶體	4 GB

B. 軟體需求(Software Specification Configuration)

	項次	名稱	數量	規格	
Server端	1	作業系統	1	作業系統	Ubuntu 18.04 LTS
	2	ROS系統	1	機器人作業系統	melodic
Client端	1	個人電腦	1	作業系統	Windows 11 22H2
	2	Google Chrome	1	網頁瀏覽器	Chrome 117.0.5938.132

2. 測試結果與分析(Test Results and Analysis)

測試案例編號	測試結果 (Pass/Fail)	備註
D2RSR-TC-01	Pass	
D2RSR-TC-02	Pass	
D2RSR-TC-03	Pass	
D2RSR-TC-04	Pass	
D2RSR-TC-05	Pass	
D2RSR-TC-06	Pass	
D2RSR-TC-07	Pass	
D2RSR-TC-08	Pass	