

日本都市街道交通管制系統

—— 交通號誌 ——

(本報告係譯自日刊工業新聞社出版
之「交通システム」一書第二章)

作 者：尾 佐 竹 徇
塙 克 郎
伊 藤 充 江

交通部運輸研究所
中華民國七十六年五月

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：					
中文：日本都市街道交通管制系統——交通號誌					
外文：交通システム					
行政機關出版品統一編號			運輸研究所出版品編號		
09104760019			76—1—323		
研究工作主持人：林大煜 主要研究人員：許洽濟			受委託單位主持人： 主要研究人員：		
研究方式：					研究期間
<input checked="" type="checkbox"/> 自行辦理——主辦單位：運輸安全組 地 址：臺北市10484敦化北路240號 聯絡電話：(02) 7123121					自 75年9月
<input checked="" type="checkbox"/> 委託辦理——受委託單位：統一翻譯社 地 址：台北市南京東路二段30號3樓 聯絡電話：5116092					至 76年4月
關鍵詞：交通管制系統、系統評估、交通號誌、號誌系統方式、飽和度、時差、全紅時間、最小綠燈時間、時相、週期式交通號誌、感應式交通號誌、區域性交通管制之電腦系統、交通流量檢知設備。					
摘 要：本文主要在介紹都市街道交通號誌管制系統，逐項解釋號誌系統之評估基準、系統方式、號誌之基本知識、號誌之種類與機能，此外並對區域性交通管制之電腦號誌系統設備與機能詳加說明，使一般交通工程人員能對交通號誌有所認識與瞭解，並在實際的都市街道交通管制系統中加以利用，以達到改善都市交通秩序的目的。					
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式		
76年4月	94	253	洽本所免費贈閱	<input checked="" type="checkbox"/>	洽本所訂購
			其他()		
管制等級			本表：		
本出版品：					
<input type="checkbox"/> 機密 (<input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 承辦單位視情況通知資料組解密)			<input type="checkbox"/> 機密 (<input type="checkbox"/> 解密日期為 年 月 日， <input type="checkbox"/> 承辦單位視情況通知資料組解密)		
<input checked="" type="checkbox"/> 一般			<input checked="" type="checkbox"/> 一般		
備註：本報告譯自日刊工業新聞社出版之「交通システム」第二章（廖豐化先生初審）。					

目 錄

一、概 況	1
二、系統之評價基準	5
三、各國都市道路交通管制	9
3.1 英 國	9
3.2 德 國	16
3.3 加拿大	17
3.4 美 國	18
3.5 日 本	18
四、交通號誌在交通控制系統之應用	22
4.1 交通號誌之基本特性	22
4.2 交通號誌之種類與機能	29
五、區域交通控制系統	42
5.1 交通控制系統機器之性能	42
5.2 電腦之構成	46
5.3 控制水準之階層性與信賴度	47
5.4 情報處理所必要之能力	51
5.5 交通流動檢知裝置	57
5.6 終端號誌控制機	80
5.7 傳送機器	84
5.8 人機介面	87

表 目 錄

表 1	各地區域交通控制之實例	10
表 2	交通號誌種類	30
表 3	從時間頻率看電腦應具備之各機能分類	45
表 4	電腦系統之信賴性	47
表 5	控制水準別信賴度	49
表 6	各系統機能不同水準別信賴度	50
表 7	機能分擔各階層方式與單純地域分擔方式之比較表	50
表 8	中央處理電腦程式諸元	52
表 9	中央處理電腦之程式及命令頻率	53
表 10	控制用電腦之程式諸元	55
表 11	控制用電腦之程式及命令頻率	56
表 12	各種車輛檢知器之比較	60
表 13	超音波式及 Loop 式車輛檢知器之規格及性能	61
表 14	Loop 式車輛檢知之重要性能	66
表 15	超大型 Loop 式佔有率檢知器之重要性能	68
表 16	超音波車輛檢知器之重要性能	74
表 17	交通控制訊號傳送方式之規格	86
表 18	FS50 貝周波數分割方式之周波數分配	87

圖 目 錄

圖 1	交通管制結構圖.....	4
圖 2	標準四岔路口交岔點	23
圖 3	標準二時相控制圖	23
圖 4	早開遲閉二時相控制圖	23
圖 5	三時相控制圖	23
圖 6	交通需求與周期長之關係	25
圖 7	二時相全紅控制	25
圖 8	連續交岔路口之號誌時相	26
圖 9	於路線控制時 Offset 效果預測模擬之一的流程	28
圖 10	定時交通號誌之構成	31
圖 11	交通感應式號誌控制器之車輛檢知器配置	32
圖 12	交通感應式號誌控制器之構成	32
圖 13	Dilemma Zone 測定結果	36
圖 14	控制時機圖	36
圖 15	感應系統式交通號誌之構成	38
圖 16	感應系統式交通號誌之機器體系	39
圖 17	感應集中監視式交通號誌之機器體系	39
圖 18	時差之選擇概念	40
圖 19	在交通管制中心之交通管制裝置流程圖	43
圖 20	單一方式之電腦	46
圖 21	多階層方式之電腦	46
圖 22	機器系統之階層性與控制水平之階層性	48
圖 23	系統之調整條件	49

圖24	中央處理電腦之速度上限條件	54
圖25	中央處理電腦之容量上限條件	54
圖26	控制電腦之速度上限條件	55
圖27	控制電腦之容量上限	57
圖28	Loop 式車輛檢知器方塊線圖	62
圖29	Loop 式車輛檢知器對鐵筋及鐵板感度之影響	63
圖30	Loop 式車輛檢知器之分解能	64
圖31	Loop 式車輛檢知器感度特性	65
圖32	Loop 式車輪檢知器埋設感度之影響	65
圖33	超大型Loop式佔有率檢知器方塊線圖	67
圖34	佔有率實測例	68
圖35	超音波式車輛檢知器方塊線圖	70
圖36	超音波脈衝方式之不要反射抑壓圖	70
圖37	超音波Head指向特性	71
圖38	出力保持時間說明圖	72
圖39	超音波式車輛檢知器之分解能	73
圖40	Loop 式車輛檢知器設置圖	75
圖41	車道通行分佈	76
圖42	時間佔有率之測定	77
圖43	空間佔有	78
圖44	超音波式車輛檢知器之設置方法	79
圖45	超音波式車輛檢知器用斜上式時之妨碍車輛高度 與容許非檢知寬度	79
圖46	終端號誌控制機方塊圖	82
圖47	交通管制系統情報之流通	84

日本都市街道交通管制系統

—— 交 通 號 誌 ——

一、概 說

所謂交通控制或交通管制系統，包括交通規則、指導、道路及設施之改善，以及交通號誌和其他之控制裝置等資訊次系統。交通控制之對象為車輛、駕駛人及行人，另外對十字路口交通整理有極大作用之號誌，它不僅具有阻斷交通或促進通行之效用，在法律上亦有強制力，因此，若綠、黃、紅燈色之意義未能使民衆澈底了解，那麼它將僅是一種照明的作用而已。另外隨着車輛性能之變化，車輛與行人之比重，以及控制技術之進步，交通控制系統之構成，亦因而有所不同。

以往所謂交通管制，大多限於如何以交通號誌的燈色來處理交通流量，其對象也限於平面道路，至於高速道路，則認為沒有加以管制之必要。但是高速道路若使車輛無限制進入，則將產生阻塞現象，「高速」也將毫無意義。因此，高速道路之交通管制，也變成切實的問題，必需加以檢討。

現階段並非所有交通管制的方法都已確立完整，故有關都市道路與高速道路間之關係，或與都市環境之調和，有待研究之課題仍多。

圖 1 為交通管制結構圖，由圖中所示，依法令所做之約束或教育等要素，與一般產業領域中所謂控制系統之構成不同，其原因為交通管制係含有管制「人」之意義在內。故必須將包括人在內之管制與機

械系統之控制加以涵蓋。

以法令加以約束之具體手段係交通規則。交通規則中之單向通行規則，若加以實施，則車輛之流通與雙向行駛自是不同。而且單向通行與雙向通行所用號誌之控制計數法（Algorism）也有不同。在實施停車規則或特定車輛之指定線路時也是一樣，此種規制可增加道路容量，提高交通號誌之控制能力。

控制裝置中，有交通號誌、可變標誌表示板、標線及照明等，其中，交通號誌可用來管制平面街道十字路口之汽車及行人的通行，且對交通流通之控制貢獻極大。交通號誌之設立，係為整理十字路口交通流動及保障交通安全，以周期性之綠燈來處理各方向之交通需要，交通號誌綠燈時間之決定方法，也有以 OR 之問題來處理者。而且由於交通號誌之設置數目，日漸增加，路口間號誌之連鎖亦甚為重要，因此如謀求時差（Offset）之合適化亦是大家所討論之課題。此處所謂時差，係指與兩相鄰十字路口號誌之綠燈時間之開始時刻之時間差。時差設定之良痞，對控制效率實有極大之影響。但是在時常發生飽和流量之地域，事實上時差之可變範圍亦極為有限。

利用交通號誌來控制之限界，其需要上之積極抑制力較弱。在某方向之長時間之綠燈，即表示另一方向之長時間處於紅燈，有時在十字路口等待的車輛數會超過十字路口間之可容納停車數。

標誌係依法律，對進入或通行方向之車輛、行人加以規制，若禁止進入，則表示該方向不得通行，此時，駕駛員即可依自己之判斷，改變路線。故根據交通混亂的程度，以可變標誌對進行方向加以規制，這在我國雖尚未普及，但在歐美却是常用之手法，今後我國也會逐漸導入的。

資訊使用於交通管制系統，係利用廣播、電視、新聞等具有情報傳達之迅速性與廣域性者，例如以廣播傳送交通狀況，使駕駛人能自

行選擇路線，則為一種可行之手段。

指導培育並不限於交通工程理論方面之教育，實際也含有車輛駕駛之法令、車輛構造、駕駛方法等之教育，由學校、汽車教練場、或講習會來加以指導，這樣直接的或間接的訓練對維持交通秩序是有幫助的。

設施之改善，主要係道路管理者對道路與道路附屬設備之小規模改善，其目的在求車輛或行人之暢通。例如，十字路口之角落切角、十字路口與十字路口周邊之槽化，安全島、或人行陸橋之設置等即是。

圖 1 所示，多數次系統之運用，屬於警察及道路管理機關，運用結果影響全體市民，因此必須認清交通管制系統係為社會系統之一環。

有關綜合之交通管制手段之研究，時期仍極短暫，我們將以交通標誌為主體之控制設備稱為「需要處理之控制」。對此，可發揮駕駛人自動選擇路線能力，是一種提昇全體控制效率的新嘗試，我們又稱為「促進利用之控制」。另外尚有反映都市環境之控制嘗試之「需要管理之控制」。

促進利用之控制，有優先將管制之線路，通知駕駛人之資訊系統，或為優先以可變標誌來規制通行，在空間小交通混亂之都市中心十字路口，用來防止交通過度飽和，而在適當之場所，將車輛予以滯留或限制。

需要管理之控制，為了管制汽車排氣及噪音而限制車輛進入都市內者，可與公害監視中心互相配合。

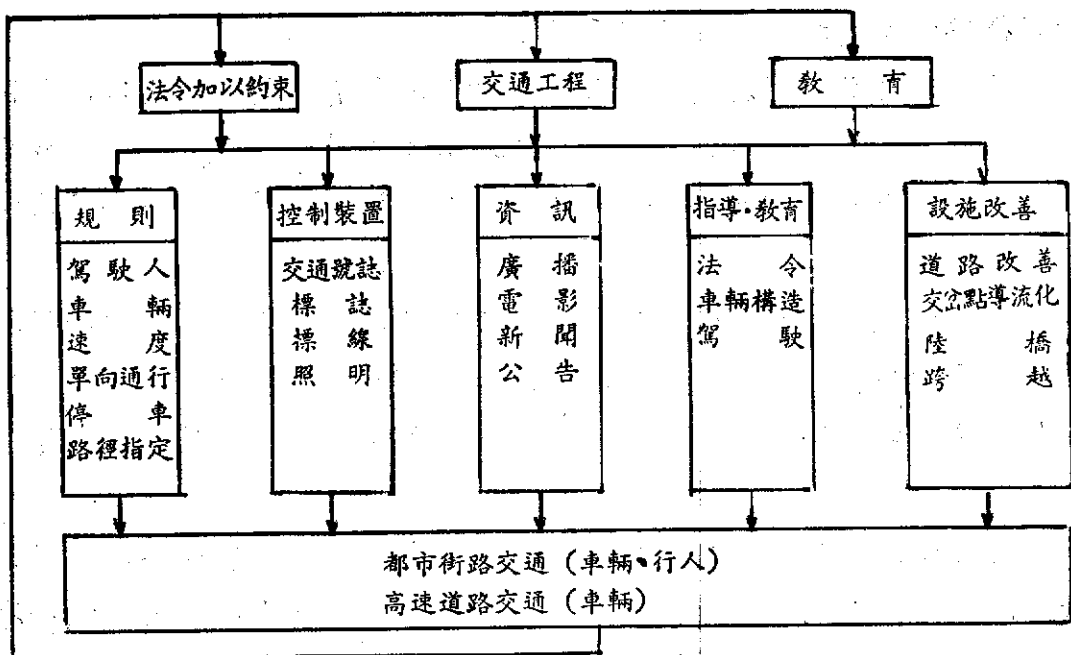


圖 1 交通管制結構圖

二、系統之評價基準

交通管制系統評價基準之設定，係左右交通管制系統運用效果的一種基本課題。以往作為交通管制系統之評價基準者，有如下事項：

- ①交通量最大。
- ②十字路口容量最大。
- ③綠燈時間利用率最大。
- ④停止次數最少。
- ⑤通行時間最少。
- ⑥連續通過地帶最大。
- ⑦等待綠燈之次數最少。
- ⑧不排長龍。
- ⑨每公里車輛數最多。
- ⑩總遲延最少(在所有十字路口紅燈等待車輛數、時間之最少)。
- ⑪各道路之飽和度均一。
- ⑫車輛密度均等。
- ⑬事故最少。

一般社會機能控制之階段，始自安全性之確保，其次為服務之提升。換言之，即為提高快適性。增進設施之有效利用，經由選擇許可制之階段，最後作體系之革新，使系統複合化。

交通管制的初期階段，係設定十字路口的優先通行權。在此階段裏，對要通過十字路口之車輛或行人，給予依次通行權。所以，此一階段係為保障安全的一種整理，以及最小限度之權利分配，這就是十字路口的單獨管制。

次一階段，在沒有必要之道路上，不必顯示綠燈，只在車輛或人

員到達時，才顯示綠燈，這種構想是從處理交通頻繁路口需要設置綠燈的情形衍生而成的。它是一種地點感應號誌的緣起。在提高服務方面，我們發現，前後關連之線式控制，較之單獨管制來得有效。因為若在特定十字路口能順利通過，而在下一個十字路口必須等候時，就不能提高效率了。因此，即產生了一種與幹線道路有關的系統式號誌與自動感應系統式號誌。在此一階段，可連續控制10~30個十字路口的號誌，連串的號誌羣，其綠燈開始時刻的時間差，即時差之決定問題。此階段之評價基準已相當明確。只要評估一下最短的幹道行駛時間，以及各十字路口每輛車停止時間為最少即可。

但是，若幹道與幾條幹道交會時，在評價基準上，就必須考慮交叉幹線的評價了。尤其環狀道路，必須做路線評價時，即進入下述之階段。產生現有設施有效利用之概念，此一階段，各個十字路口最適化就是網路全體最適化，這種觀念即不適用，於是便有了使網路全體之總延誤量，達到最少的想法。

十字路口間之車輛速度，在整個區域裏幾乎都固定時，則控制對象整體區域之總延誤量：即因紅燈而停止之（車輛數） \times （停止之時間）之總和可達到最少。但是，以較規定之速度為快的車輛也遭到延誤，而當交通混亂時，則低速率與停止秒數，就很難正確測量了。若由於空間之限制條件或稍許混亂而引起阻塞時，則必須從控制理論上無法管制的對象中加以剔除，且網路擴大時，整個區域交通需要類型的同時性，或水準之同一性即告消失，此時必須將網路（Network）加以分割，作成小區域（Subarea），然後再謀求此一小區域的最適化。此時，為了小區域間之調整，需求水準必須分段加為評價，在小區域內，依各自的需求水準變更其評價基準。此時可隨交通需求之增加使停止次數減至最少，使在紅燈等待之車輛數、時間達到最少，使十字路口之容量達到最大。

但是像日本都市裏一般，需求急速增加，經常處於近乎飽和狀態或過飽和狀態之十字路口、區間或地區，雖有各種的評價基準，但被採用者仍然有限。且交通流量經常變動，其控制形式也須經常變動。交通流動出現延誤時，人、車之反應變慢，但並不是一定如此，所以控制指令之迅速性必須掌握，太快也不適當，有時是必須分段，或以固定的方式來控制的。此種情形，十字路口之構造或鄰近十字路口相互間之空間限制條件，反而是一個問題，大阪都中心區交通控制調查報告書中：將空間限制條件多的十字路口稱為區段(Segment)，認為這是為了提高控制安定性的一種手法。且根據中區域 (Zone) 間旅次起訖，或路線調查之結果，為了交通順暢，設定優先路線，且為了提高疏通能力，除了號誌外，正檢討使用具有法律約束力的單向通行規定或可變標誌，來發揮由駕駛人自己選擇路線的能力。此時，高速公路與都市道路均有適當加以利用之必要，駕駛人所能使用之資訊手段也是很重要的。此階段之控制稱為「改進利用之控制」，大家均認為它可促進現有設施的有效利用。

在設施有效利用中，每一道路若均為高密度之車輛所佔有時，那麼不管是需求的處理上或促進利用上，此時，必須設定某一基準，採取以特定之目的或為特定之人而賦與優先順位之選擇性許可制呢？或則是在達到某一區域指數 (Area Index) 時抑制流入都市內之流量。區域指數之設定，有地區交通密度 (Area Traffic Density) [輛/ha]、破壞都市環境之一的 CO 濃度、以及其他大氣污染量等等，此時可採變動收費道路制，或依據混雜度而徵收道路混雜稅。此種階段之控制，稱為需求管理之控制，此一方式在社會公平性上如何加以評價，也有其困難之一面，却是新體系形成上的一種過渡吧！關於新體系的形成，已超過本文之範圍。例如美國的 BART 計畫，係為改善汽車中距離通勤交通問題的一種嘗試它的重點在高速大量輸送上。另外有

一種稱為 Niagara Frontier 的計畫，它是一種利用汽車的便利性與鐵路的便利性所組合的運輸開發計畫。而 Dasher Bell 系統則為短距離及中距離之人與貨物輸送所開發的運輸工具，它是利用按鈕 (CALL) 或程式 (Program) 的一種全自動傳送系統。在此新體系下，到底以何種基準來評價？是今後應加以檢討的課題。它與現在都市街道交通管制之控制理念是不相同的。

三、各國都市道路交通管制

在介紹都市道路交通管制或區域交通控制時，幾乎都是利用交通號誌來控制十字路口交通的，而且也僅是提到某地區全體的號誌控制器以某種形態互相配合使用等等。像這種地區全體號誌以某種之形態加以連結配合的想法並不新穎，大約在20年前，巴黎市內即有100台號誌即由巴黎警局加以控制。

將一個十字路口單獨加以控制，在效率上是不如將鄰近幾個十字路口統合控制。這是誰都明白的。但是等到實施時，又往往與計畫中之控制方式不一樣了。它之所以不同，是由於道路形態、車輛通行數量、交通號誌之普及程度、控制裝置之技術水準，或國民性等之不同所致。

使用變動標誌或變動表示板來控制進行方向或車行路線是常見的例子。也有為了提高交通號誌的管制效果，而將行駛速度加以指示的。比如，優先考慮公共運輸而對巴士之通行給與高度優先順位，以及對巡邏車或救護車之通行給與優先權者。但是此種管制，並未溶入整個系統中。我們看看英、德、加拿大、美國及日本都市所實施例子，表1為各都市之實施概要。

3.1 英 國

英國在西倫敦及Glasgow市各以交通號誌為主體，分別作交通控制之實驗，西倫敦係自1968年春開始，Glasgow自1967年秋開始，分別確認交通號誌管制的效果。

Combination 方式 (西 London, Glasgow)

TRANSYT 方式 (西 London, Glasgow)

表1 各地區域交通

都市名	Toronto (加)	San Jose (美)
設置年	1963年 8 月	1965年
系統概要	1. 中央電腦控制方式 ①適合十字路口交通狀態之控制，可作容量密度控制 ②考慮區域系統相關之控制，可管制候車	1. 中央電腦控制方式 ①最通系統控制 ②單一交岔點之最通控制
特 徵	1. 控制方式具有彈性 2. 導入部分預測控制 3. Check program 4. 設定固定周期用（電腦故障時）例行交通解析 5. 為研究交通控制系統之有用資料處理	1. 總體之控制（連線電腦系統） ①Brooks 之系統設計法 ②Chang之候車理論 2. 個體之控制 ①Grafton Newell之非飽和十字路口系統 ②Gajis Pott 之通飽和十字路口系統 3. Gajis Pott 之路線控制
控 制 裝 置	1. 高速汎用數位式計算機 UNIVAC 1107, 750KW 磁氣 Drum, 32KW 磁心 2. 輸出入 Buffer UNIVAC 418, 16KW 輸入端子7,000，輸出端子3,000 3. 單位控制器（估計）約800台 4. 檢出器（Loop式）約500台	1. 中央電腦 IBM 1710-II，而後 IBM 1800, 16KW 2. 單位控制器（推定）59台 3. 檢出器 Loop式320台 踏板式80台
十字路口數	305 (1965年)、500 (1968年)、800以上 (1969年)	59
控制情報	1. 交通量 2. 速度 3. 佔有率	1. 交通量 2. 佔有率 3. 速度 4. 停止遲延
經 費	1. 設置費18億圓 2. 維持費1.7億圓/年（對 1,000 個交岔路口）	不 明
效 果	1. 交通量12~18%增加 2. 停車次數69%減少 3. 平均速度67%增加 4. 交通事故 8~16%減少 5. 交通警察變為12人 6. 經濟效果約72億圓/年	1. 延誤時間（Chang方式） 減少14~20% 2. 延誤時間（Brooks方式）減少20% 3. 可以連線來做技術計算

控制之實例 (1)

Munich (德)	東京 (日本)	西 London (英)
1967年 4 月	1970年 5 月	1968年 1 月
1.中央電腦控制方式 2.電視監視 3.Green Web 方式 迂迴指示，可預定預測控制	1.中央電腦控制方式 2.依飽和度變更控制模式 3.銀座、日本橋地區控制 (35 交岔點，1965年設置) 之改 修擴充	1.以地點感應式與中央電腦 控制併用方式作廣域控制 2.以ITV作監視
1.Process 專用電腦與汎用電 腦之併行方式 2.程式選擇、預測程式選擇、 程式之設計 3.大規模之 Display	1.程式形成方式 2.將控制模式分為五種，並改 變其評價基準 (1)停止模式：停止次數最少 ，閉散時 (2)遲延模式：遲延最少、中 度交通時 (3)容量模式：容量最大飽和 交通時 (4)行列模式：行列之波及限 制、過飽和交通時 (5)停滯模式：停滯恢復、停 滯時	1.其目的是使行車時間與遲 延降至最少 2.候車排列之測定 3.從控制中心準備二種控制 信號，依以信號之組合來 調整控制程度 4.電腦故障時，即變為感應 系統或地點感應式
1.中央計算裝置 ELLIOT AR CH 9000 8KW (Process 專用) 1 台 ELLIOT 4120 8KW (汎 用) 1 台、磁帶 2 台 1,300 萬字 2.檢出器 110台雷達、超音波 Loop 3.電視21台 (可裝至30台)	1.中央計算裝置 NEAC 3100, 18位元32KW (Core), 273KW (Disc) 8.9KC (M.T.) 2.單位控制機109台 3.車輛檢出器196台 Loop式168台 超音波式27台 長大 Loop 式 1 台	1.中央電腦 PLASH-XL9, 16KW (29Bit) CORE MEMORY 83KW Magnetic Drum 1 台 2.輸出入電腦 PLASH-XL 9, 16KW CORE MEM ORY 1 台 3.單位控制器70台 4.檢出器約500台，Rubber hose式約300台，Loop式 約200台 5.ITV裝置Monitor 8 台
170 (1967年夏)、約 370 (1970年) 可擴充至1,200	123 (1970年)	70
1.交通量 2.速度 3.混雜度 4.等待車輛·秒	1.交通量 2.佔有率 3.候車長度	1.速度 2.交通量 3.候車排列長度
不 明	3 億圓	4億7仟5佰萬圓
不 明	未發表	1.以電腦方式 行車時間減少9.2% 遲延縮短18.5% 2.年間節省經費 19億4,500萬圓 (225萬英 鎊)

表 1 各地廣域交通控制實例 (2)

都 市 名	Vichikahole (美)	Glasgow (英)
設置年度	1966年10月	1967年
系統概要	1. 中央電腦控制 2. 選擇17個 TIMING SEQUENCE 之樣式	1. 併用地點感應式與中央電腦控制
特 徵	1. 檢核控制地區之出入車輛數 2. 與單位時間內之交通量之平均值做比較 3. 檢核車線之佔有率 4. 檢核實際行走速度與系統速度	1. 使在十字路口之遲延及行車時間最少 2. 實驗下列之方式 COMBINATION 方式 (系統進行式) TRANSYT 方式 (以分割控制系統進行式) FLEXIPROG 方式 (以地點感應控制系統進行式) EQUISAT 方式 (等飽和度控制) PLIDENT 方式 (車羣感應控制)
控制裝置	1. 中央電腦, IBM 1800 16KW, DISC 500KW 1 台 2. 單位控制機推測57台 3. 檢出器25地點63台 (其中19台為踏板式, 其他為 Loop 式)	1. 中央電腦 Malcony-Myriad Mark I 16KW (最大32KW 24 bit) 2. 單位控制機推測80台 3. 檢出器空氣壓式250台
十字路口數	57(1966年)、77(1967年)	80
控制情報	1. 交通量 2. 速度 3. 佔有率 4. 停止次數 5. 延 誤	1. 速 度 2. 交通量 3. 候車排列長度
經 費	不 明	約2億8仟5佰萬圓
效 果	1. 停止 8% 減少 2. 延誤 18% 減少 3. 事故 8.5% 減少 4. 速度提高自 22km/h 至 48~56km/h 5. 利益 1,500 美元/日	1. 以電腦方式平均減少旅行時間 12% 2. 以 TRANSYT 方式其平均旅行時間較電腦方式改善 4% 以上 3. FLXIPROG 方式、EQUISAT 方式則與電腦方式無差 4. PLIDENT 方式開發中

FLEXIPROG 方式 (Glasgow)

EQUISAT 方式 (Glasgow)

PLIDENT 方式 (Glasgow 計畫中)

EQUISAT 方式——Glasgow

PLIDENT 方式 (計畫中) ——Glasgow

關於以上各種方式已有多數論作發表，Combination 方式係以 Greater London Council 改良者，分為 G.L.C. Combination 方式以與傳統之基本方式。

1. 基本 Combination 方式

基本 Combination 方式，係使用不連線之電腦加以之一種模擬方法。控制之水準為固定周期之系統進行式，可找出早晚之尖峯時與非尖峯時延誤最少之時差。在模擬時，號誌間之時差變化時，每一環結之交通延誤即可算出。它假定從號誌入口到達出口，或形成塞車前時各車輛行車時間均相同。並假設在環結入口成為綠燈時車隊當作方形波狀態，且其波形並不因時間或行走距離而變形。模擬時依下列之條件為之：

(1) 至 Link 之交通流量與 Link 入口號誌之綠燈時間。

(2) 在 Link 出口之飽和交通量與出口號誌之綠燈時間。

(3) 號誌之周期，周期為全網路相同或設為 $\frac{1}{2}$ 周期。

(4) 在 Link 上移動之交通的移動時間，或其距離與速度。

2. G.L.C. Combination 方式

此方式係將基本的 Combination 方式，依下列各點加以改良者：

(1) 不只使延誤最少，停止次數也最少，每輛車之停止以慢 4 秒計算，此停止之影響度，可分為 6 種考慮。

(2) 流出車羣之波形為蝌蚪形 (Fad Poling)，與實況相符合。

(3) 將模擬結果作表時，可以得知變更時差時之最大遲延、最適遲

延。

任何 Combination 方式均假定 Link 為互為獨立，並假定妥當之飽和狀態為70%以上，但中間有未飽和十字路時，此一未飽和十字路口可予省略。

3. TRANSYT (Offline) 方式

此方式亦為線外之模擬，係使網路之平均停止車輛數減為最少之一種方法。控制之水準為固定周期，系統進行式加上時比 (Split) 控制，最適當之數學方法為使用登山法，模擬時有下列之假設。

- (1) 大型十字路口有交通號誌。
- (2) 全網路之周期相等，或為基準周期之 $\frac{1}{2}$ 。
- (3) 網路內之流入量率為固定。
- (4) 左右轉比率為一定。

交通之進行模型使用 G.L.C. Combination 方式之蝌蚪形波形；流出交通之樣式，係將號誌周期加以50等分之時間單位 Histogram 表現之，由實驗決定之。

計算結果，將 Link 中之十字路口出口編號、飽和度、一周期之最大候車排列車輛數、Uniform 延誤、Random延誤及停止之平均車輛數，製成表。

此方式，將其時差之周期每 $1/50$ 變化加以比較，可求得時比之最適化。為了檢討每一次區域 (Subarea) 之最適化，亦可變更時差羣。但此種方式，因不含周期之最適化，使用者必須適當指定其周期。

4. FLEXIPROG 方式

此便在定周期系統進行式上附加地點感應控制，又稱為融通性進行式，為英國一般所使用之系統控制系統，但與 Combination 方式相比，其效果並不好。

5. EQUISAT 方式

此一方式亦稱為等飽和方式，與 Combination 方式相同，係一固定周期系統式，以氣壓式車輛檢知器測定各流入路之交通量與飽和交通量來決定其分割值、飽和交通量變為綠燈 6 秒後開始至 22 秒間所測定之 8 次的 8 秒間最大車輛數，以平均值表示之。

6. PLIDENT 方式

觀察優先度高的單向通行道路，或雙向通行道路優先度較高單側之車羣的動向，可連續給以綠燈，以車羣之長度調整綠燈時間，但此種方式尚在開發之中。英國在 1954 年已經使用 2,000 部地點感應式號誌，英國評價基準重點是放在各十字路口上流入路之延誤為最少。因此認為地點感應式號誌是最具效果之控制手段。1963 年時，計畫將市內號誌用電腦來加以統一控制，實驗地選在西倫敦，而西倫敦的實驗地區在泰晤士河北側 6.5 平方哩（15.5 平方公里）的地方，此一地區約有 70 個十字路口號誌，以及 30 組之行人專用號誌。控制效果以 Road Research 研究所所開發之行車調查為基礎來加以分析。

此方法之基本原理為，在某一路線上行駛試驗車，然後測定其行車時間（Travel Time）、停止時間，以及路線內特定處所之交通量，4 輛試驗車從路線之兩端同時出發。

行駛試驗 1 天 6 次，出發時刻為 8 點 30 分、10 點、11 點 30 分、14 點、15 點 30 分，及 17 點。試驗路線選定 4 條（當初 5 條），當行駛 1 條路線之尖峯時間在該路線完了時，即到達下一尖峯時間，一次測定 2 條路線。

各路線分為 40 區間，在該區間測定 6 分鐘的交通量，車輛之一次行駛時間中（約 1.5 小時），一人在東行及西行或北行及南行，各測定兩次 6 分鐘之交通量，測定 3 個區間。本次測定動用 12 名測定員。1968 年 4 月與 1 月之實驗結果，發現以 Combination 方式其行車時間

縮短 9.2%，延誤減少 18.5%，每年可節省經費 225 萬英鎊（19 億 4,500 萬圓）。又 1966 年 1 月 CLOMEWELL 道路 8 個十字路口試驗結果，平均交通量增加 5%，延誤減少 12.9%。

Glasgon 的實驗區域，為 Ride 河所貫穿之南北約 1 平方哩（2.4 平方公里）的地方，本區有 1 台電腦控制 80 個交通號誌十字路口。調查方法大約與西倫敦相同，在評價期間前的一星期先作練習行駛調查期間定為二星期。一天 4 次沿着標準的交通形式的路線，使用 4 輛試驗車加以調查。

實驗結果：以 Combination 方式則平均行車時間減少 12%；TRANSYT 方式有 4% 以上之獲得改善；FLEXIPROG 方式與 Combination 方式則無效果。且 EQUISAT 方式則不若 Combination 方式有效，對飽和交通量之測定方法需加以改善。

3.2 德 國

德國於 1965 年在柏林設置最初的交通號誌用電腦（VSR 16013），以前的交通號誌主要係根據時刻表以手動變換，或使用時鐘做自動變換的程式控制方式。控制方法為 W.V. Stein 於 Dusseldorf 開發之 Signal Funnel 法（號誌之漏斗），在各地多被採用。Signal Funnel 法有中間 Funnel 與開始 Funnel 二種方法，此二種均與表示路線系統速度之速度控制號誌併用之，將自由行駛車輛併入車羣中使流入號誌區間，以提高綠燈時間之效率與時差效率，而得保持系統速度。再由車羣之大小決定其分割。此種方式與美國系統式號誌發展而成的連續通過帶最大寬度法稍有幾分不同，可以說它是由德國國民之守法精神所衍生的一種方式。

德國與英國不同的是，她不像英國那樣，大量使用地點全感應式交通號誌控制器。德國的地點感應號誌大都為小型側道半感應，或行

人感應，只留意到不妨害系統式，由於它在於避免在十字路口做不必要的停留，可以發揮很大的效果。

德國本來和Frankfurt那樣，在許多十字路口裝設電視，再按交通情形把它變換為控制程式。此種方法由於交通過度複雜而難於判斷，且由於用電視監看，所以控制較慢，現在只在節日或足球賽等特殊交通現象時，才予以使用。

Hamburg 在1967年7月開始使用 SEE MAINZ VSR 16000 專用電腦，作為系統式號誌之程式選擇，並使用 Loop 式車輛檢知器，測定交通量與車輛之平均速度。但平均速度之測定僅限於交通混雜時，雖然最初使用8種之程式，但以後僅作系統式之有效組合以至現在，待平均交通量達到容量之70~80%時即變更程式。

Munich 約有550個交通號誌，其中大約有 $\frac{2}{3}$ 係由警察總部交通控制中心的電腦來控制的。每年並增設30~50台號誌。本中心並可用電視來監視交通，設置作業始於1963年、1967年才正式啓用。感應控制分為幾個區間 (Zone)，並依照交通流量來選擇號誌控制程式。號誌控制程式之選擇，使用在交通量、混亂度，及速度之情報。主要作系統控制與獨立十字路口之時間比率控制。車輛檢出器為每一交通號誌羣使用2~6台之 Loop 式及超音波式車輛檢知器，以車輛之時間間隔 (Time Headway) 與速度求出混雜度。

3.3 加拿大

1959年在15個十字路口利用以數位式電腦控制做實驗，1963年8月將約20台號誌與訊用數位式電腦 UNIVAC 1107相結合開始作業，這是世界上首次利用電腦來做信號控制的試驗，1965年有305個十字路口，1968年有500個以上的十字路口均納入控制範圍。

控制之內容，有多段系統式、自動感應系統式，以及自動感應系

統式附加地點感應之方式，並以路線控制為主體。並在部分幹線道路利用紅色“X”印信號作車線控制 (Lane Usage Control)，積雪時計畫，現示變換。從發表資料的可知，其交通混雜度較東京或大阪為低，號誌控制的時間平均一天15小時至20小時。電腦雖也可用於離線分析用，但在離線處理時，無法作交通號誌控制器之控制。

設置所需費用約500萬美元（約18億圓），行車時間平均減少10%，每年大約有2,000萬美元（約72億圓）的效益。

3.4 美 國

美國在 Los Angeles, Baltimore, Buffalo, Washington, New York 各都市早期即實施以自動感應系統式為主的號誌控制及車線控制。使用電腦的控制例子最初係1965年於 Texas 州 San Jose 市的59個十字路口的交通號誌，以 IBM 1710-Ⅱ 電腦加以控制者，1967年把電腦換為 IBM 1800 控制方式係將進行式系統控制型依照時刻加以選擇的方式。

1966年 Texas 州 Wichitahole 市的57個十字路口以 IBM 1800 來控制，1967年控制之十字路口增加至77個。這和 Wichitahole 相比，檢知器較少，57個十字路口只有63台，77個十字路口也有64台，它係根據交通流量選擇40個號誌控制類型中選取一種的。此種處理瓶頸十字路口之 micro-loop 法，可發揮地點感應機能。

New York 市也有利用 IBM 1800 電腦控制約1,300個十字路口的計畫，於1969年開始施工裝置。

3.5 日 本

日本開始輸入交通號誌係1930年的事，當初係裝設於東京都日比谷十字路口。1931年大阪市本町2丁目十字路口也設置了國產固定周

期式號誌。1963年並於橫濱市設置地點感應式號誌。自1964年開始，地點感應式及感應系統式號誌始漸漸普及，並推動進行交通控制裝置開發及控制方式研究的工作。

在區域控制計畫中首先引用交通號誌者，是在東京銀座、日本橋地區的實驗，及後來發展成功的目前東京區域交通控制。第一階段的實驗，自1964年以科學技術廳特別研究促進調整費5,195萬圓為基礎開始檢討，在1965年底，將東京都銀座、日本橋地區之約1平方公里，35個十字路口之交通號誌與數位式電腦MADIC 600相連結，於1966年開始作業。

此一方式並在交通工程研究會的區域交通號誌控制方式研究報告書中提到，它是利用在主要4個路線8台車輛檢知器所測得之交通量情報，選擇將6個路線35個十字路口交通號誌之連續通過帶幅變為最大的程式，以及使在十字路口之延誤為最小之程式的手法。

與幹線交岔之數寄屋橋、銀座4丁目、日本橋這3個十字路口則在各路口設置Loop式車輛檢知器，使用具有地點感應機能之系統內全感應式號誌按時間比率控制。在銀座4丁目十字路口上由於行人極多，因此設有光電式及踏板式之行人檢知器，用來管制行人用綠燈時間。在交通量少變動大的銀座3丁目北、京橋2丁目及並木通之十字路口使用系統內半感應式號誌。本計畫除控制方式外，並對各種檢知器的比較、必要的交通流情報與控制地域及與非控制地域的十字路口問題等進行檢討。

以第一階段的檢討結果為基礎，第二階段之計畫自1969年開始實施。第二階段之計畫係以豐田汽車販賣公司捐贈的3億圓來設置的，交通工程研究合作完成系統設計與機器規格，並於1970年5月開始作業，控制對象範圍為皇宮南部約5平方公里，123個十字路口的號誌以中央之電腦NEAC 3100 (32K)加以控制，使用超音波式車輛檢知

器27台，Loop 式車輛檢知器168台，及 12m×100m 超大 Loop 式行列長檢知器。

在第二階段之控制，依交通流飽和之程度將控制模式分為5種，依各自模式而變更其評價基準，控制模式之概要如下。

1.停止模式

用於交通流量較少時，與幹線自動感應系統式號誌所使用之控制方式略同，其目的在使車輛在區域內之停止次數減至最少。

2.延誤模式

適用於中度交通量，目的在使控制地區內之總延誤減至最少，控制程式並非是一種可選擇式，係在電腦中製作出來的。

3.容量模式

適用於道路容量之交通需要，其目的僅為判斷流入十字路口之交通流量，以控制各方向道路之時間分配為主。

4.行列模式

雖適用容量模式仍有無法處理交通需要，以致車隊不斷延長，此即是適用眼前十字路口交通影響之模式，其目的在於把對車隊之影響減至最少。

5.阻塞模式

車隊長達到一定值以上時適用本模式，其目的在於儘快化解阻塞狀態恢復暢通。本模式經實際經驗之運用，今後將予以檢討。

第二階段之計畫是依照經驗所做之檢討，選擇13主要路線之次區域為對象，此次區域內均為同一周期，在次區域內選定決定周期用之交通流測量地點。次區域內及次區域間之決定時差所必要之路線則另外決定之，從各適用評價基準中選出適當之時差路線。交通流量飽和度之判定，係以距停止線約 10m 位置之車輛檢知器與距停止線約 100m 位置之車輛檢知器來求得，尤其在左右轉彎交通多的十字路口

上變更其顯示，但猶未使用變動標誌。

第一階段實驗計畫之結果，每年約有 1.1 億圓之經濟效果，至於第二階段之結果預定於最近提出報告。

東京都以外，使用電腦做交通控制的有埼玉縣、福岡市，及京都市。

埼玉縣從1970年開始，在縣內 5 個都市裏做 7 個十字路口混雜度感應式號誌控制，把 7 個十字路口上交通混雜度顯示於沙盤上為公告。電腦方面是以 FACOM R (8K) 作為交通管制，採用 OMRAC-T (4K) 多階層方式，而且有 47 台超音波式車輛檢知器。

福岡市在1971年控制 39 交岔點之交通號誌，並把 28 個十字路口之混雜度顯示於沙盤上。為了監視交通之混雜度，並在主要十字路口設置 8 台電視攝影機，再以 6 台電視監視之，為迂迴混雜地區，另外設置 4 台阻塞情況表示板。電腦則採用 NEAC 3100 (32K)，車輛檢知器使用 Loop 式 181 台、超音波式 9 台，合計 190 台。

京都市在1971年就把 45 個十字路口號誌控制及 18 個十字路口之混雜度顯示在沙盤上，45 個十字路口中有 3 個是使用可變顯示號誌，在前面路況發生嚴重阻塞時，用綠燈來指示迂迴的路線。電腦方面係採用 FACOM R (125K) 及 OMRAC-T (8K) 之多階層方式，車輛檢知器則使用 148 台超音波式。

四、交通號誌在交通控制系統之應用

從各都市之例子得知，在都市道路交通管制上交通號誌之功用極大，以下特介紹以交通號誌作交通控制之方法。

一般稱為交通號誌者，不包含鐵路用及路面電車用之號誌。交通號誌能滿足喚起注意、意義明確、人之反應時間，或表示遵守等基本條件，以對各道路利用者分配適當之利用時間。尤其在十字路口可做為道路利用者之通行權順位發出之指示，因此法律上規定有遵守號誌指示之義務。

4.1 交通號誌之基本特性

1868年倫敦首次使用手工托架式號誌，這是交通號誌之起源。其後經一世紀間許多次之改良及研究，遂出現使用光汽笛、銅鑼，及鈴的號誌。由手工操作，逐次更換為自動之裝置，瓦斯燈之光也變為電燈，機械式也變為電動式，現在則變為電晶體或積體電路之中子式，由中央電腦發出指令，做統一控制。

交通號誌之基本機能，有綠、黃、紅及綠箭頭燈色，表示通行之優先權，綠色表示可以直行及左右轉彎；而綠箭頭則表示可通行箭頭表示之方向；黃色表示預告不久即變紅燈，對於已經進入十字路口內的車輛，具有使其安全駛出十字路口之功用。運用上使用3秒至10秒的時間，黃色之閃爍表示通行時應注意其他車輛；紅色之閃爍則使車輛在十字路口直方應暫停，此時行人即可通行。

交通號誌包括行人專用之號誌，行人專用號誌以綠燈、綠燈閃爍，及紅燈等標示。但沒有黃色燈。綠燈表示可通行，綠燈閃爍表示注意，紅燈表示禁止通行。

我們以圖 2 所示之十字路口 4 個方向為例，以瞭解號誌的運作。如圖 3 利用此種號誌控制十字路口之交通流動，我們稱之為標準二時相控制。但是，在十字路口左轉交通很多時，大都採用圖 4、圖 5 之方式。圖 4 稱為附加時差二時相或 2.5 時相控制，圖 5 稱為三時相控制。（註：本文圖例均已依我國車輛靠右行駛之特性加以調整）。

時相為 phase 之譯語，即對某方向給予通行權之意思，將十字路口之交通流動分由數個時相來處理。在時相中更分為幾個步驟(step)

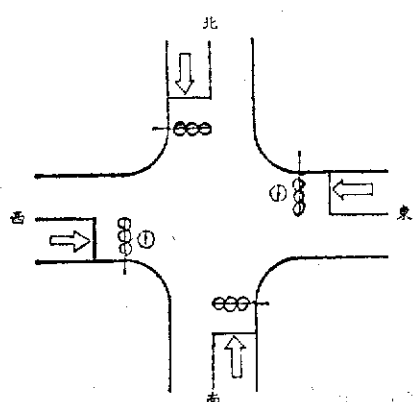


圖 2 標準 4 岔路口交岔點

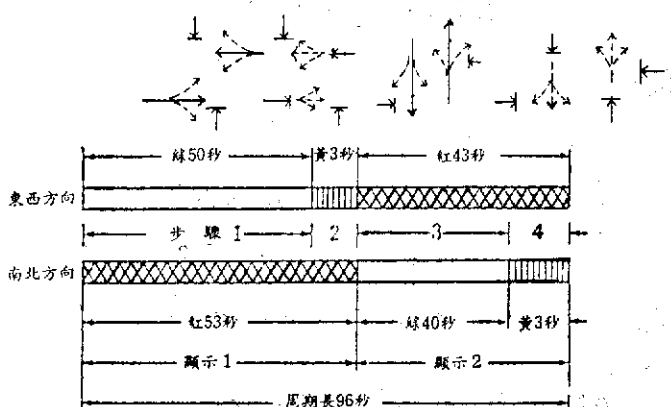


圖 3 標準二時相控制圖

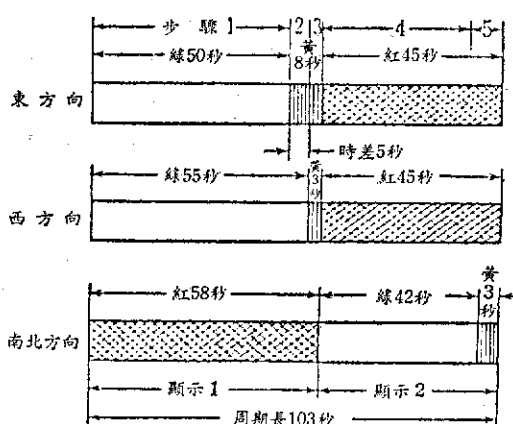


圖 4 早開遲閉二時相控制
(即西方向綠燈遲閉)

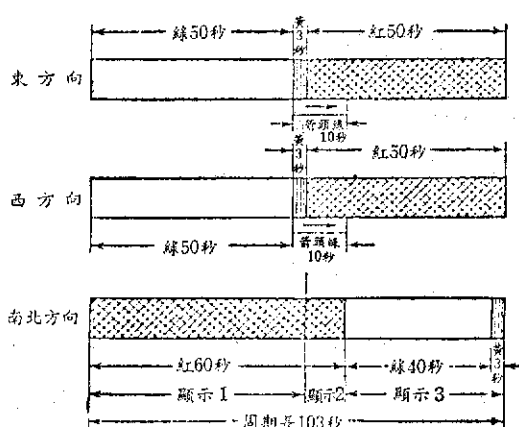


圖 5 三時相控制
(附左轉時相)

，圖 3 之各時相，即具有綠與黃二個步驟，一個周期是由 4 個步驟所構成的。圖 4 則在東西的黃燈時間分為 2 個步驟，一周期由 5 個步驟所構成，步驟為調查號誌機能時所必需者。

周期長度 (Cycle Length) 或周期係指紅燈一循環的時間。如圖 3 為 96 秒，圖 4 為 103 秒。周期是由十字路口的飽和程度來決定的，一般飽和度 (Saturation Degree 亦稱為混雜度) 愈大則愈長，常以下列方程式表示之。

$$\text{周期長} = \frac{A}{1-\rho} \text{ (秒)}$$

式中：

$$A: 1.5L + 5$$

L: 一周期中沒有車輛通行之空檔時間之合計 (秒)，包括各時相之綠燈時間延遲的 2 秒，黃燈時間之約 50% 及全部紅燈時間 (後述)，每一顯示為 3~6 秒。

ρ : 各流入路線之飽和度 ρ_i 之合計 $\sum_{i=1}^n \rho_i$ ，飽和度 ρ_i 由下式求得：

$$\text{飽和度 } \rho_i = \frac{\text{流入路段 } i \text{ 之需要交通量 [輛/單位時間]}}{\text{路段 } i \text{ 之道路容量 [輛/單位時間]}}$$

單位時間在形式上採用 1 小時或 1 小時換算值，在交通需求變動大的地方，以 15 分鐘或算出 5 分鐘作為單位時間。飽和度 ρ_i 以百分率表示，稱為必要顯示率。

實際所給予之周期長，在市內為自 80 秒至 120 秒程度，郊外之獨立十字路口為 40 秒至 300 秒程度為宜。計算之結果若必須在 300 秒以上時，則不可能以號誌來管制，表示其需求已超過道路容量。與鄰近十字路口間隔很短，且有連續幾個十字路口時，由於左右轉車、停車、行人及側旁流入之車輛的關係，如圖 6 所示，由於有某種需求量，故周期較短。這使得十字路口間交通開始阻塞，超過至前面相隣十字路

口之停留容量，使車隊越排越長，以致前面十字路口一個接一個都動彈不得。

我們假設某時相時間為 G_1 ，則此時間在周期長 C 所佔之比率 G_1/c 我們稱之為時間比率，或時比 (Split) 或顯示率。圖 3 時相一之時間比率為 53秒/96秒=0.57，以百分比表示即為 57%，稱之為時比—時相 (Split-phase)時，即為時差顯示。

圖 3 為將時相一之南北方向的紅燈53秒改為55秒，假若在時相二之東西方向的紅燈43秒再加上 2 秒變成45秒時，即如圖 7 所示。時相一與時相二之間，所有方向均為紅燈之時間為 2 秒。此稱為全紅燈時間 (All Red Clearance)。全紅時間過久會導致號誌處理效率的下降，但若適當的分配時間，即可防止十字路口內之交通事故，提高安全性，有使十字路口內之車輛快速通行防止交通混亂之效果。因此全紅燈時間應以 2 秒為準。

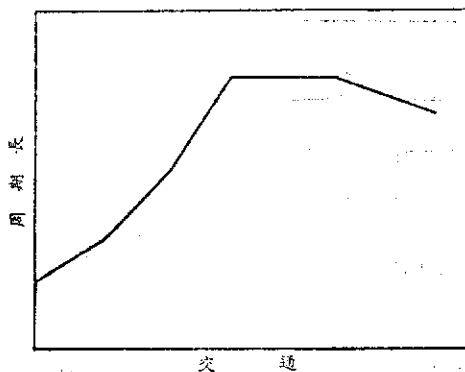


圖 6 交通需求與周期長之關係

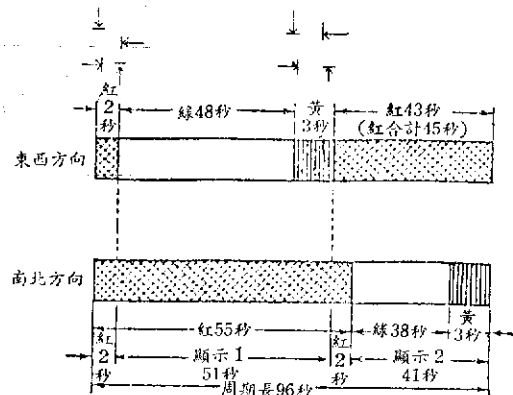


圖 7 二時相全紅控制

時相之選擇、周期長及時比之決定，係利用號誌處理交通之基礎，另外，與相鄰號誌之綠燈開始的時差即為號誌各十字路口控制之主要因素。時差為具有開始或扣除計算之意義，如圖 8 所示，係表示在

某基準十字路口之號誌自綠燈開始之時間差距之絕對時差，如此表示十字路口間之相對之時間距即為相對時差。時差之單位為〔秒〕，但如圖 8 所示，它大部份均以周期之百分比來表示。此在交通需求多的時候，相對車輛速度慢，路口間車輛行駛時間變長。若使時差變更，則周期較長時，其變更量也大，周期較短時，其變更量即小，即可防止混亂。此時即採周期長之 12.5% 做為變更量之標準。時差為零時，稱之為同步時差。在同步時差時，則相隣接號誌同時為綠燈。所有號誌雖然同時出現綠燈狀態，這是混雜時號誌的有效運用方法之一。

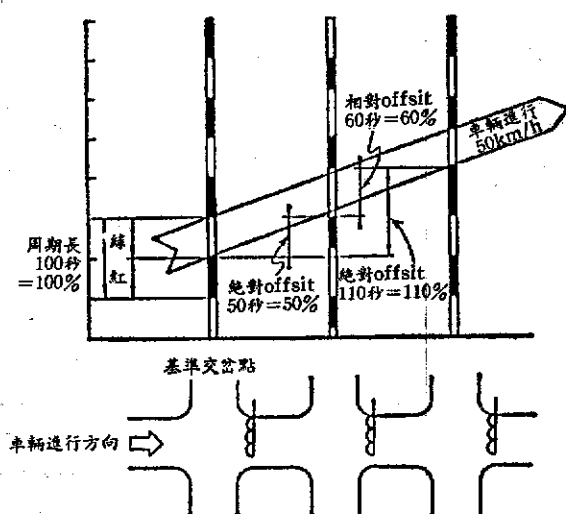


圖 8 連續交岔路口之號誌時制

關於時差之決定，有幾何學的解法、模擬法，以及稱為動態實際時間決定法的時差形成法等多數之論作。然而時差之變更頻繁時，有時在變更的過渡狀態中反而會形成交通混亂，因此，為了配合時差變更之 offset lock-out time，或為了給與變更後之最少保證的 offset lock-out time，必須設定為 5—20 分鐘才行。另外有一種時差之變化方向，可不致發生交通混雜變換手法，也已公諸於世。

關於時差之決定，它與交通控制系統之評價基準有關，它可在各評價基準上決定其時差，但在形成閉迴路之雙方向通行之道路網，則不易求得解答，另外在利用作為指定單向通行、優先路線之設定與以可變標誌等來提升管制水準於集合複雜的十字路口區域上時，反而將時差固定，如此可以促進它的安定性。在區域時差之調整範圍，有的僅有數個%而已。這稱之區域，在白天所有時間中，交通流量幾乎均達到飽和狀態。

在實行雙向道路幹線控制時，決定時差所用方法選擇之指標，大略如下：

- 1.對於道路容量，需求最高為70%，若十字路口間隔較為規則，則可用幾何學的一種解法，以使連續通過地帶最大的 Fiser 方法，可以很輕易地求出平等時差。
- 2.需求在70%以上，而為十字路口間之行駛速度不同，考慮各十字路口之時間比例，欲求得幾何學上之嚴密解答時，用以下之方法即可。
- 3.需求常在80%以上時，各十字路口間之距離短且不規則，且在十字路口之車隊長造成問題時，若欲將在十字路口之等待輛 / 秒與等待車隊長度減至最少時，可使用模擬方法，此時就沒有連續通過帶這個概念了，與縮小對象區間之行車時間大約相等。
- 4.使用模擬行車模式極為重要，對於行進波形、限制速度、行駛舉動、左右轉比率、十字路口容量、交通量—速度特性、車種結構、行人等，必須根據實地調查資料而實施之。使用單純行車模式模擬之結果，經驗者以主觀方式設定之時差，常是低劣而不實用。圖 9 係以一模擬來看時差效果之流程圖的例子。此模式，係以車輛一輛為單位來做，考慮從十字路口兩側之左右轉進入車、往十字路口兩側之左右轉流出車、Dilemma Zone 處理、車道寬等之影響。車輛速

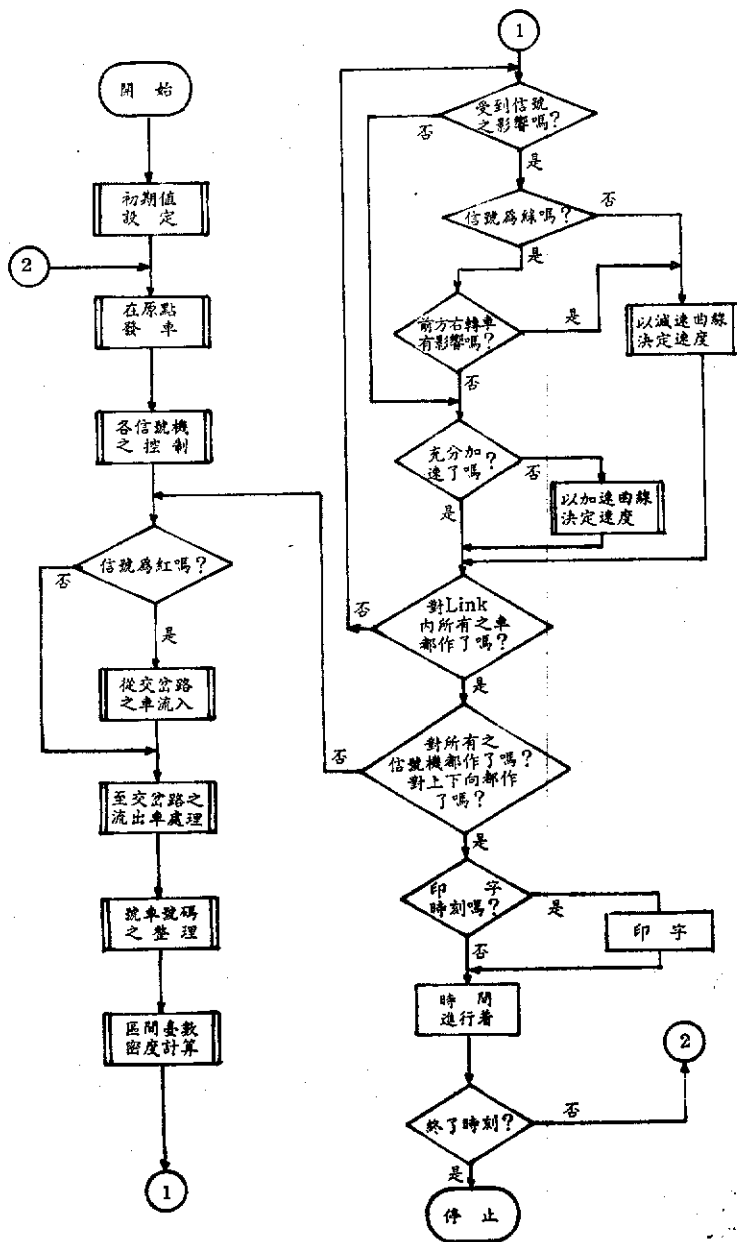


圖 9 於路線控制時 offset 效果預測模擬之一般流程

度為流體模式與追蹤模式之折衷方式，若紅燈使車輛停止時，後續車輛從 50—100m 之距離起即開始減速。在全部十字路口為同一周期時，利用時距顯示控制之。此時在各十字路口上給與絕對時差及時間比率、各十字路口之等待輛 / 秒、區間平均速度、區間平均行車時間，即可隨時顯示出來。

5. 在控制區域裏，若全近於飽和狀態之需求時，其時差之設定，根據路線調查及 OD 調查，應以確保優先處理路線之流通為重點。僅以號誌處理，在此階段是有其限度的，此時對利用迂迴手段，或促使車輛流出市外，抑制車輛進入都市內等方法上，必須求諸於號誌以外的其他方法。

4.2 交通號誌之種類與機能

表 2 為各種交通號誌之分類。此種分類在未來全面實施號誌集中控制時，可以說它也是使用方法的一種分類。依交通號誌種類之不同，其構成要素及時間精度之嚴密度各不相同，在表達實現號誌時間上，有電動式、類比式及數位式三種。

電動式係到用 Disc Motor、誘導形馬達或小形同步馬達之回轉速度來設定時間的，以往即大量使用於固定周期式號誌接制器。它是由一種小形同步馬達與鼓輪(Cam)相組合，可掌握時間脈衝(Timing Pulse)，也有以線圈驅動鼓輪者。因價格低，必須加油，在時間的反覆精度或設定精度上並不嚴密。最近在區域號誌控制中常作為保安用固定周期號誌之備用。

類比式(Analog)為由電容器與電阻之組合，有利用其充放電時間者，也有用電晶體的。使用於部分之固定周期式號誌及部分之感應式號誌，它是電子式之一種，與下述之數位式比較，在時間精度與設定之融通性上較差，但不須加油，比較便宜。長時間使用時，會因季

表 2 交通號誌種類

種	類	通 用 場 所	機 能
十字路口單獨控制用	定時式式	單獨用於交通量變動較少之十字路口。	事先決定之一定時間上變換為紅、黃、綠燈。
	多段程式式	單獨用於交通量變動較固定之十字路口。	準備3~4種之周期與時間比率，在各時刻變換，其他與定周期式同。
	交通感應式 (全感應式) (半感應式)	單獨用於交通量大，變動也大之十字路口。	根據交通流量變化綠燈時間。 全感應式對所有之進入路段之交通都有感應。 半感應式僅對特定之交通有感應。
複數十字路口控制用	單純系統式	集中在交通量較少，變動少之連續十字路口。	與十字路口綠燈之開始有關係，以一定之速度行駛時，每一個十字路口逐一變為綠燈。
	多數感應式	集中在交通量較少，變動較固定且有再顯性之連續十字路口。	在有再顯性交通類型中，準備3~4種周期或時差，其他與單純系統式相同。
	感應系統式	集中在交通量變動多的幹線道路之連續十字路口。	依交通流量自動做周期、時差及時比之變換。
	區域感應式	集中在所有交通量之變動多之市內十字路口。	依交通流量，為使能圓滑的處理市內全體交通流動，將周期、時差、時比予以變動。

節性溫度差而產生時間誤差，必須時常調整。

數位式是使用電晶體或積體線路脈衝計數器 (Pulse Counter)，係利用計數基準時間脈衝而求得所定時間之一種方式。基準之時間脈衝，係用商用電源之周波數 50Hz 或 60Hz 或使用發信器。價格稍高但因時間正確且體積小，地點感應式號誌、自動感應系統式號誌、區域式之號誌系統均使用此種方式。

1. 定時式號誌 (Pretimed Signal)

在一定之時間，反覆綠、黃、紅燈之單純方式，這也是號誌之基

本作用，其構成如圖10所示，在計時回路以手動將周期、顯示之順序與各進入路口之綠、黃、紅燈時間等加以設定，輸出回路由於受到計時回路之指令而將綠、黃、紅之信號燈器之白熱燈泡加以點燃，此為簡單之連續回路，普通可將1周期分割為12個步驟以上。

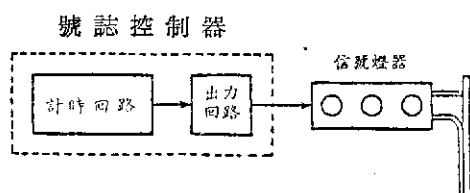


圖10 定時交通號誌之構成

輸出回路之輸出繼電器 (Relay) ，多採用能承受8倍電流以上之銀、銀—石墨、銀—氧化鎘等之具有銀合金電氣接點之電磁繼電器，但最近則為採用雙向性之Thyristor (又名Tri-arc) 。

2. 交通感應號誌 (Traffic Actuated Signal)

此種號誌之主要在配合車輛的多方面需要，是一種綠燈時間較長的號誌，使用於能偵知車輛有無或車輛繼續之車輛檢知器 (Vehicle Detector，在交通關係上也稱為車輛感知器)。交通感應號誌分全感應式號誌與半感應式號誌二種。

全感應式號誌 (Full Actuated Signal) ，如圖11所示，將車輛檢知器裝在十字路口車輛流通路上，如此可以感應交岔路口所有方向之交通流動，而變化綠燈時間顯示之方式。在任何進入路段之交通需求多，且變動也大之十字路口，將十字路口容量做最大限度之利用，其十字路口之總延誤 (Total Delay) 時間，即在各方向紅燈時所停止之車輛輛/秒達到最小時使用之。圖12為地點感應式號誌之構成圖。半感應號誌 (Semi-actuated Signal) 只在特定之進入路段裝設車

輛檢知器，且在該方向變化為綠燈時間的方式。一般在交通流量少的支線道路之進入路段上裝車輛檢知器，支線道路上車輛出入時根據其車輛之流量，設定支線道路之綠燈時間，平常多使用於使主要道路有優先權之綠燈時間。

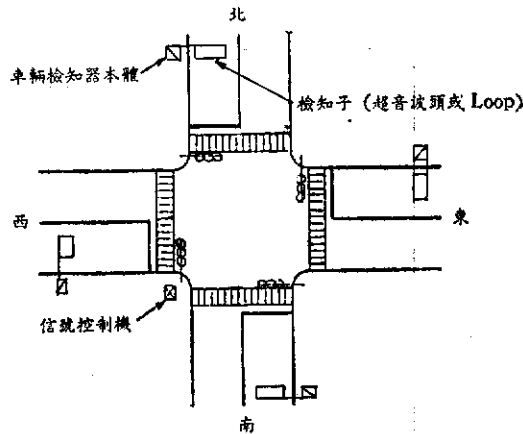


圖11 交通感應式號誌控制器之車輛檢知器配置

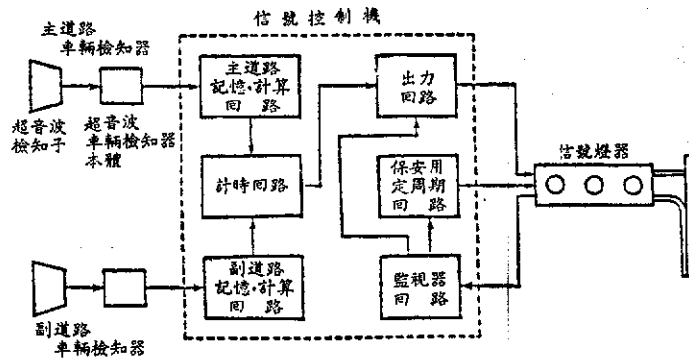


圖12 交通感應式號誌之構成

在圖11之例，若南北方向之交通量較少，有變動時只在南北方向裝車輛檢知器，東西方向不設車輛檢知器。若南北方向交通量非常之

少，則此一方向也可能不必設綠燈時間，若考慮到行人，一般雖沒有車也給與最小限度的綠燈時間。此時此顯示稱為 Recall。

交通感應式號誌，依交通情報之收集方式有如下之種類。

(1) 車間感應型

此類形式可偵知與後續車輛之車間時間間隔 (Gap Time) 的秒數，若車間時間間隔短，即交通量多時，即可將綠燈時間延長。若在某設定秒數以上，沒有車輛到達，即判定交通量變少，而將綠燈時間切斷。此設定之秒數稱為單位時間 (Unit Time)，一般是2~6秒。在單位時間內，若有車輛到達綠燈時間含延長一個單位時間。延長之單位時間，稱為單位延長 (Unit Extension)。在單位時間內，車輛綿綿不斷進入時，其延長之限度，到設定之最大綠燈 (Maximum Green) 為止，該時段即終了。沒有車輛，或只有1輛車時，即以最小綠燈 (Minimum Green) 為終了。

此種車間時間間隔感應型，係交通感應式中最普遍之型式，其缺點在交通不疏暢之岔路口或非常混雜之交通狀態下，車行緩慢，則車間時間間隔即拉長，此時則誤判沒有車到來，將綠燈切斷。

車輛檢知器之設置位置，原則上依十字路口流入車輛速度而定，在市內，通常車輛進入速度為40Km/h 前後，則此每多設置在距停止線30~40m之位置。

(2) 混雜度感應型

此一類型亦稱為阻塞檢知型，係彌補車間感應型缺點，其方式有容量密度 (Volume Density) 感應型、時間佔有率感應型、及空間佔有率感應型等幾種。

a. 容量密度感應型，係測定20秒內較短時間交通量，交通量多時

，即斷定為高密度車羣 (Platoon)，具有使車羣快速通過之機能 (Platoon Carry-over Effect)。又計算在紅燈時間之大略等待輛/秒，當十字路口之等待輛/秒變多時，綠燈表示之方向，其單位延長綠燈即漸次變短。所以在綠燈表示的方向若車輛密度不高時，則綠燈信號即易被切斷。車輛檢知器之設置位置，大約以車間感應型之二倍為準。

- b. 時間佔有率型亦稱 Time Occupancy 感應型，係時間佔有率高時即視為混雜高之狀態，將單位延長綠燈時間自動的延長。其缺點如車間感應形一樣，在車輛行駛較慢時，綠燈信號易被切斷。十字路口上之時間佔有率高時，與容量密度型一樣，也可將單位延長綠燈予以縮短。此方式在交通容量少之十字路口上，其效果尤大，適用例子亦多。車輛檢知器與車間感應型之可在同位置裝一台，且在距停止線約200m 之位置，敷置一台時間佔有率測定用檢知器。
- c. 空間佔有率型亦稱 (Space Occupancy) 感應型，係從超大 Loop式車輛檢知器所得空間佔有率高時，將綠燈時間延長。超大 Loop 式車輛檢知器係在2—4車道寬將50—150m長 Loop 之電線埋設在道路中，利用電磁原理計算車輛之投影面積。時間佔有率之測定，因係點之測定，若在測定地點之前後停車或放置事故車輛時即有無法提供正確情報，這是其缺點。但使用超大 Loop 時，即可獲得廣範之交通情報。空間佔有率因為可提供與車列長度及交通密度情報同價值之交通情報，不僅可用在地點感應式號誌，也可用於各種號誌控制情報上，或高速公路之交通狀況顯示。

(3)速度感應型

在停止線附近，號誌由綠變黃時，駕駛人常有應該繼續前進

或停止的猶豫。此一猶豫範圍即稱為 Dilemma Zone。Dilemma Zone 在車輛速度愈高則愈長，當然依路面條件而有所不同。圖 13 為其一例，在時速 80km/h 時，為離停止線 50—100m 之範圍，60km/h 為 30—70m 之範圍，40km/h 以下則範圍短。在 Dilemma Zone 中，想停止的車輛往往會被後續車追撞。速度感應型用於快速道路之平面十字路口，在離停止線約 150m 處來測量車輛的速度與車間時間間隔，它是延長綠燈使車輛有通過 Dilemma Zone 所需之充分時間的一種方式。延長之綠燈時間，分為單位延長綠燈 T_{V_1} 及追加綠燈 T_{V_2} ，其計算公式如下：

$$T_{V_1} = t_1 + K_1(V_t - V_s)$$

$$T_{V_2} = t_2 + K_2(V_t - V_s)$$

式中

t_1 ：對於基準速度 V_s (通常 30km/h) 之單位延長綠燈 (秒)
，通常為 3 秒。

t_2 ：對基準速度 V_s 之追加綠燈 (秒)

k_1, k_2 ：Dilemma Zone 係數 (s/km/h)

V_t ：測定之車輛速度 (km/h)

V_s ：基準速度 (km/h)

在算出之單位延長綠燈時間內，若偵知有後續車時，即取消對前車之單位延長綠燈與追加綠燈，而計算對後續車之單位延長綠燈與追加綠燈；反之單位延長綠燈時間內若無後續車時，單位延長綠燈時間終了後，離停止線約 100m 前的預告燈即閃爍，對後續車輛提出警告，可使追加綠燈之車輛在綠燈時間內安全的通過十字路口。

圖 14 係表示號誌燈器與預告燈器之信號關係。此方式也有將車間時間間隔感應型或時間佔有率感應型之機能加以組合者。

(4) 噪音感應型

交通量變多時，噪音即有變多之傾向，將十字路口內或進入路段之噪音加以偵測出，噪音高時，將綠燈加以延長，也有將噪音之水準分為三階段，來代替三段程式式固定周期號誌之時間設定方式。交通開始阻塞時噪音即變小，使用於有充裕容量之十字路口。

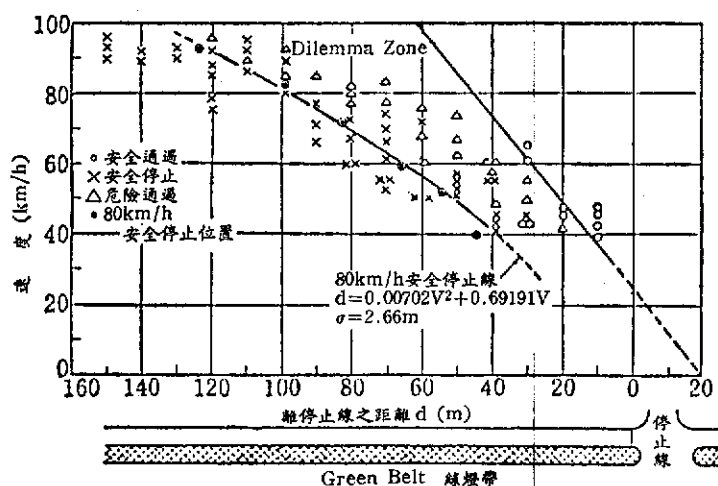


圖13 Dilemma zone 測定結果

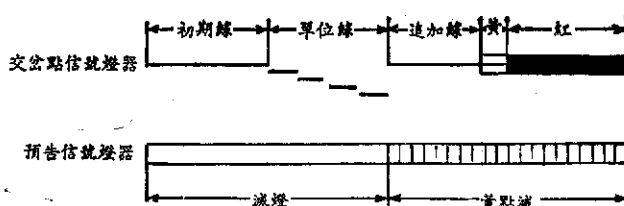


圖14 控制時機 (Timing)

3. 連鎖交通號誌 (Co-ordinated Traffic Signal)

這是使連鎖號誌羣有連續動作之方式。適於裝在幹線道路號誌。此方式在前述圖 8 所說明設定時差時才有意義。因為時差僅可設定一

種，具有高度的融通性，配合行車速度，依次變為綠燈之續進式號誌 (Progressive Traffic Signal)，係系統式號誌的一種使用方法。機能上如下分類如下：

(1)單純系統式號誌

時差、周期及時比之設定，僅限於一種，用於交通量少且變動小的幹道。因為交通量多時車行速度下降，在到達下一十字路口時即變為紅燈，非常不便。今後幾乎不用了。

(2)多段系統式號誌

為彌補單純系統式之缺點，可設定3~4種之時差、周期、及時比者，亦如清早、白天、黃昏或晚上，一般依其時間之變更，更換控制模式，控制模式可設定三種者稱為三段系統式或三段程式系統式，程式可設定為一週份。周期為40—180秒，以5—10秒單位調整，此與時差為2秒或周期之2%，時比為2秒或周期之2%之單位，加以選擇組合。

應用於交通之變動相當有固定之道路，因為交通變動不固定，則交通變動之預測亦有困難，因此日前此一方式運用之比率已急速減少。

(3)感應系統式號誌 (Traffic Responsive Co-ordinated Signal 或 Traffic Adjusted Co-ordinating Signal)

如圖15所示，根據由車輛檢知器檢知交通流量所得之交通情報，自動的將周期、時差與時比，加以變更。亦稱為自動感應系統號誌。

在代表幹線交通流之地點，設置少數幾個車輛檢知器，從這些檢知器中得知控制情報，這就是所謂的抽樣控制方式。最近則在瓶頸十字路口，主要十字路口或容易阻塞道路容量小之區間，設置車輛檢知器，將路面情報或氣象情報一併收集，根據較多之

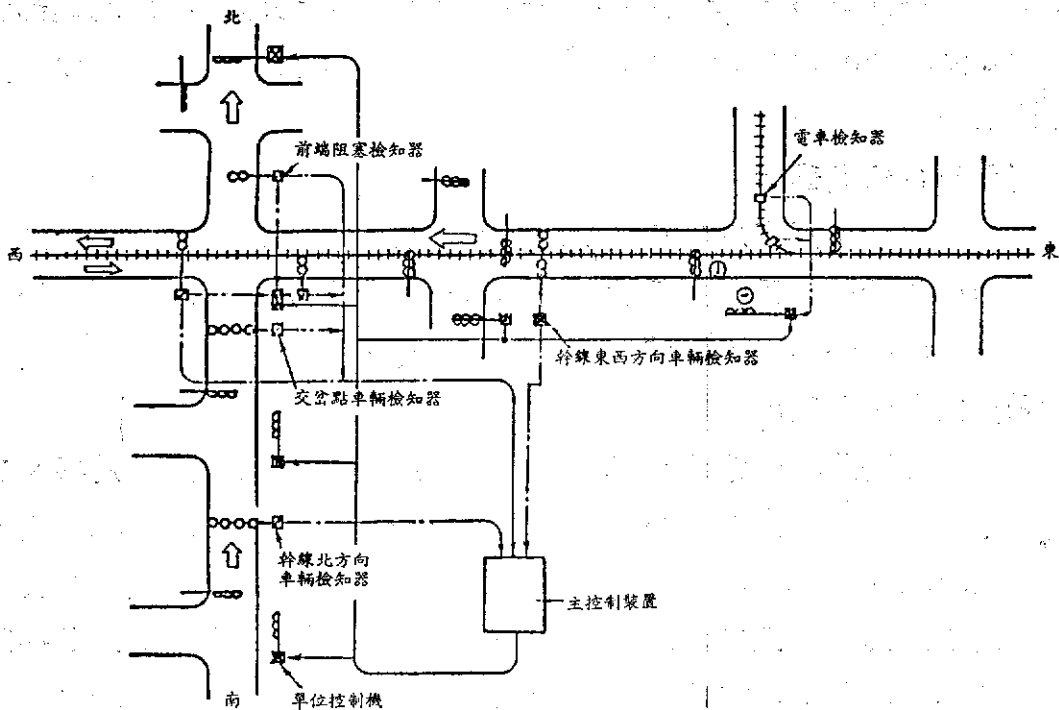


圖15 感應系統式交通號誌之構成

情報來控制之例亦逐漸加多。

此方式，亦為下述之區域性感應式之基礎。如圖16所示，由主控制器(Master Controller)、路口控制器(Local Controller)及車輛檢知器所構成。路口控制器，從具有時差及時比等參數設定機能之初期方式，進步到如圖17所示路口控制器(終端控制裝置)，只要輸入STEP指令，時差及時比參數設定部分，集中放置在中央裝有自動感應系統集中監視式號誌上。集中監視式號誌為輸送步驟行進指令所使用之FS或AM搬送送受信裝置。此外為處理交通流量、車間時間間隔、時間佔有率、空間佔有率、車列長度、速度、路面狀態等之交通情報，必須利用專用之計算機或控制用之小型電腦。

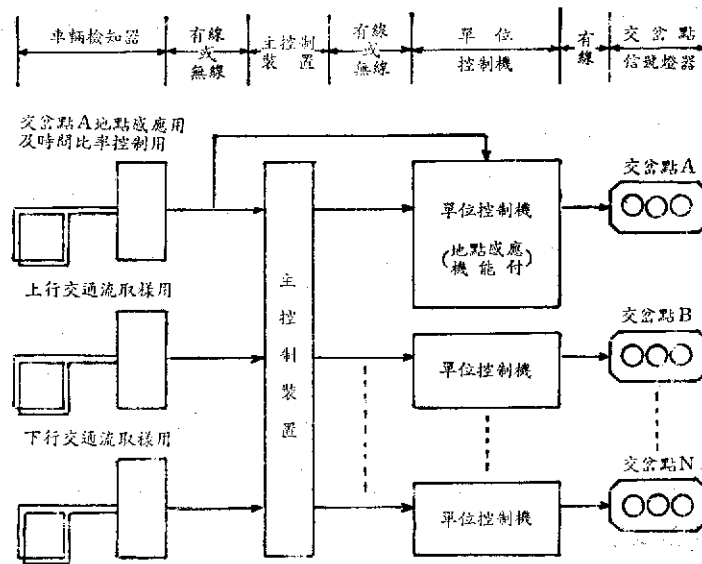


圖16 感應系統式交通號誌之機器體系

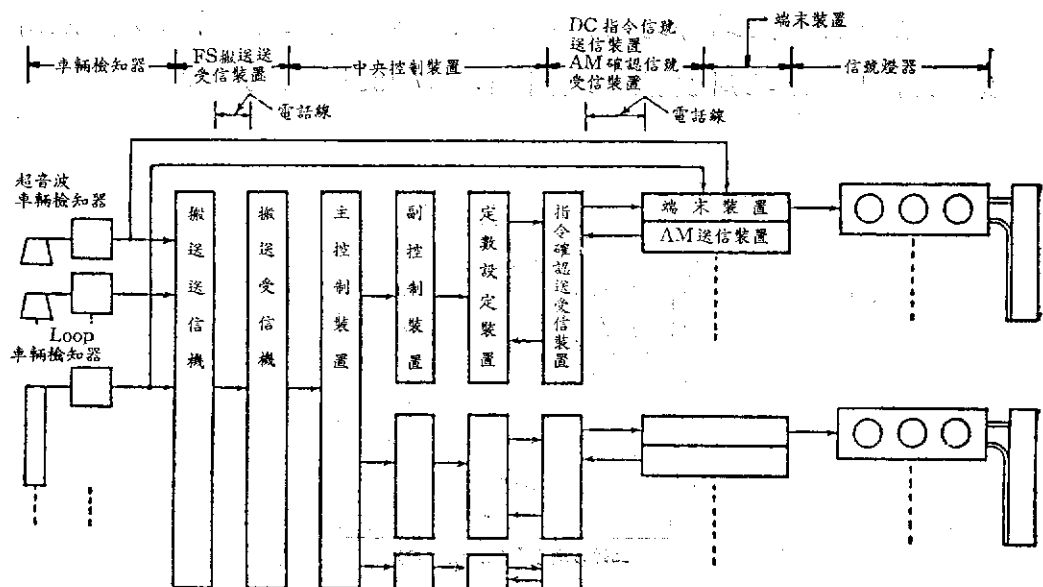


圖17 感應系統集中監視式交通號誌之機器體系

控制區域內之周期之決定，以上行與下行之交通量，或混雜度大者為基準，隨着混雜度之增加，將周期延長。周期為60~200秒，以5秒為單位，分為4~9階段來加以選擇。

時差由上行、下行之交通量或混雜度之比加以選擇。比率之設定，在1.0~3.5範圍內可任意選擇之。時差名稱有閑散時差、平等時差、上行準優先時差、上行優先時差、下行準優先時差、下行優先時差、同時時差、上行混雜時差、下行混雜時差、緊急時差等幾種。就其中採用3~8種。圖18所示，為方向別之時差的一般選擇概念。而時差通常係以相對時差表示之，以周期之1%單位設定之。

時比，多與周期式時差相組合，將決定時比用之車輛檢知器設在十字路口上，也有獨立加以選擇者。一般準備3~4種時比，可以周期之1%單位設定之。

主控制裝置式傳送系統有異樣時，各路口控制器，則以所供給之商用電源之周波數作定周期之Wheel Save運轉。

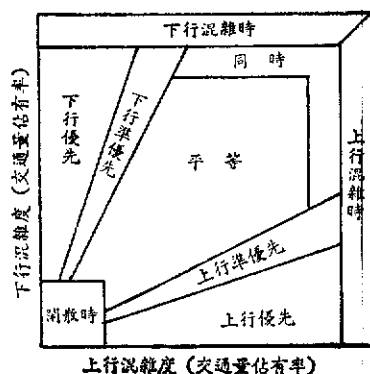


圖18 時差之選擇概念

(4) 區域感應式

被控制之號誌交岔點由於線與線的擴張，而形成網路時，就可廣泛安置車輛檢知器，將地區全體號誌統一加以處理。隨着控制地域之擴張，情報量加多，對於根據交通之混雜度以變更其評價基準之嘗試，以主控制裝置使用數位式計算機較為有利。又在路口控制器要求有時相或程序之變更時，採用數位式。

在廣泛作地區性全體號誌控制時，主控制裝置為能分擔機能多階層方式，如有障礙時，能成為一種安全自動系統調整之。故此種機能分擔方式，在大量之檢知情報之處理與號誌實際時間變換處理之 Cost Performance 成本效率上較為有利，尤其在具有重要機能之裝置，也具有在局部裝設 Duplex 或雙重 (Dual) 之功能。因此將來都市號誌，均可能以區域感應式來操作。

五、區域交通控制系統

關於區域性交通控制系統機器體系的構成，必須考慮其系統之要求機能、運用性、保養性、信賴性、擴充性、經濟性等方面。圖19所示，係在交通管制中心交通管制裝置之運用流程圖。圖中之車輛檢知器數，為設置交通號誌路口數之2~4倍。在大都市，其交通號誌路口可達數千，車輛檢知器數即超過1萬以上。通常車輛檢知器之檢知範圍，為對車輛進行方向之1~2m，在時速36km/h、車隊長度4m之下，車輛檢知範圍僅為0.4~0.8秒。為能精確明瞭高速且車長較短的車輛之存在時間，必須以一萬台之檢知器，用50ms掃描。此一情報收集速度與收集量，與一般產業用之控制系統比較時，不但速度高且量亦極多，易成為電腦之重擔，因此必須有專用之Data Scanner（數據掃描機）。又控制裝置之障礙與交通事故相關連，因此其信賴性極為重要，為增進信賴性，須充分考慮機器之備份（Back up）方式或系統之調整（Regulate）。下面參考市內區域交通控制系統研究委員會之報告，來探討機器之性能。

5.1 交通控制系統機器之性能

1. 情報收集機能

對交通管制上這是一個重要的機能，號誌控制、誘導及引導表示板控制、可變標誌控制、高速道路或與公害中心等其他系統之結合，都市計畫及道路整備計畫用之交通要件（交通量、速度等），以及收集在寒冷地區之道路氣象情報。

用在交通流量要件測定之車輛檢知器，為十字路口數之2~4倍，市內可達6倍。交通號誌路口數在一個都市自數百至數千不等。在

國外 Los Angeles 為 3,000, Baltimore 為 1,036, Buffalo 為 588, Washington 為 800, Toronto 為 1,000, 東京都將來為 8,000, 大阪市將來預定為 5,000。檢知器輸出為在檢知範圍內，若有車輛存在時即行發出，車輛速度高，車長愈短時，脈衝幅亦短。掃描周期依收集情報之種類而異，為得到時間佔有率或速度時，必須採用短掃描周期。日本一般掃描周期採用 50ms，阪神高速道路之交通管制系統為 10ms，Toronto 為 1/64 秒 (11 ms)。對電腦而言，大量之輸入點數與高速之掃描是一大負擔，因此必須使用專用掃描機，或採各區域分擔之方式。

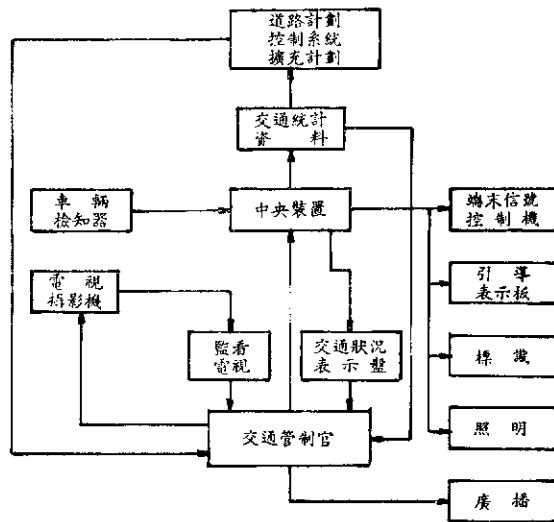


圖19 交通管制中心之交通管制裝置流程圖

2. 交通號誌控制機能

交通號誌之控制，必須滿足下述機能：

(1) 號誌控制參數決定機能

號誌控制所必要之參數，有周期、時比、時差及時相等，以收集到之秒單位及數分以上之平均交通情報值來決定之。又在決定參數時，包括區段之結合、路線構成等策略性決定理論。

(2) 實際時間變換機能

依決定之號誌控制參數與檢知器情報，對各號誌控制器發出步驟行進指令之機能。指令時間間隔，須以一秒為單位，要求較高之次數。為實際時間之變換，必須準備符合各十字路口特性之時制計畫表。

(3) 終端機器監視機能

將各種檢知器之動作狀態、終端之號誌控制裝置以及各種表示板之動作狀態，加以詢問監視之機能。包括異樣時之處置在內。監視時間間隔為1秒。

(4) 迂迴誘導控制機能

在利用促進型控制、及需要管理控制時，所用之迂迴推薦表示板、可變標誌等加以控制之機能。實行頻度較少，情報提供之品質今後有提高之傾向。

(5) 展示 (Display) 機能

以輔助交通管制官作交通控制判斷為目的及作為部分交通狀況資訊之機能稱為展示機能。在街路地圖板、管制桌、硬體監視器裝置上加以表示。交通狀況如混雜之程度及傾向、交通量、峰度、車隊長度等。交通號誌控制狀況，有交通號誌器之動作狀態、時相、綠燈方向、周期、及時差等。各種機器即檢知器、號誌控制裝置、表示板、傳送裝置、計算機等有異樣時之表示及警報。

表示間隔因是即時性，有數分鐘之定期表示，或隨時呼叫者，運用及保養極多，不可忽視之。

(5) 資訊機能

過去之資料、現狀、及諮詢之提供等資訊活動，今後其重要性將日漸增加。關於資訊機能是今後的課題，對電腦系統而言，

可以說其時間上之頻度較低。

(7)離線 (off-line) 解析機能

可作為旅次起訖交通、路線、事故統計等之解析或交通流量要件之解析等交通控制基礎資料，在日報、週報、月報等之資料之製作上很有幫助。若作交通流動模擬時，電腦之佔有時間將變多，在電腦系統之構成上須注意。上記各種機能之時間頻度之分類，如表 3 所示。

表 3 從時間頻率看電腦應具備之各機能分類

() 內所示為實行頻率

程式之實行頻率	1 秒 以 下 者	1 秒 以 上 者	依 指 令 辦 理 者 (on call)
電 腦 應 具 備 之 機 能	(1)檢知器情報之掃描 (50微秒) (2)有無車輛存在之檢核 (1秒) (3)號誌行進指令 (1秒) (4)號誌動作確認與切除 (1秒) (5)檢知器之異樣監視 (1秒或以上) (6)號誌表示內容之更新，有關號誌控制之數據，要求 1 秒之精度者 (7)統計變更 (8)錯誤處理 (9)電腦間之相互監視	(10)優先路線之決定 (策略上之決定，臨時之變更) (11)區間 (segment) 結合分離之判斷 (5~30分) (12)基本時差、基本時比、基本周期決定 (5分) (13)阻塞之程度及其傾向之判斷 (含區域指數) (5分) (14)對迂迴誘導表示板、可變標誌之標示指令 (10分~1小時) (15)對電腦控制之撤銷 (1周期) (16)Data File作成、再編成 (10分、1小時、1天等) (17)展示之表示內容之更新 (1~5分) (18) Lane control 車輛誘導	(19)管制官之介入 { 控制狀態之監視 緊急時控制 異狀時對策 表示板，表示內容，更新要求 情報之輸入、輸出 要求等 } (20)與其他系統之情報交換

5.2 電腦之構成

電腦之構成分為以一台電腦作檢知情報之掃描、情報處理、及實際時間變換，如圖20所示之單一方式，與使用二台以上電腦，對控制水平與各機能加以分擔，如圖21所示之多階層方式。在多階層方式控制用電腦，具有實際時間變換機能與自動感應系統控制機能、或阻塞控制水平之機能。

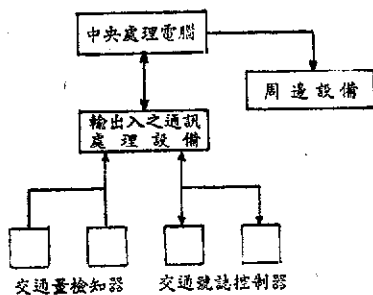


圖20 單一方式之電腦

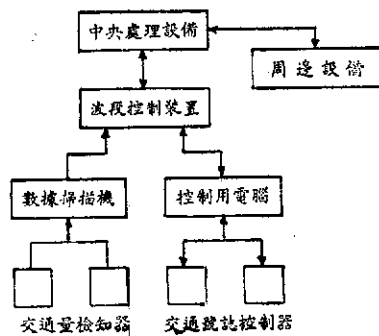


圖21 多階層方式之電腦

在單一方式控制對象地區擴大時，每一地區即增加一套如圖20之結構。此稱為單純地區分擔方式。在多階層方式，則隨着控制對象地區之擴大，增加控制用電腦及數據掃描機。關於其選擇之條件、電腦之信賴性與障礙時之控制水平的要求度，也極為重要，成本適用性、擴充性、必要地面面積、管制官介入之難易度、保養性、軟體之標準化等，也須充分檢討及加以選擇。

交通控制所用電腦之信賴性資料雖仍很少，由於附屬於電腦本體之磁碟、印表機、Drum等之障礙，導致停止計算機能之實例也不少，平均故障間隔時間（MTBF）短。用於多階層方式之控制用電

腦與數據掃描機，完全不包括打字機或磁碟等之週邊裝置，是一種以 core 為主之記憶體 (Main Memory) 的裝置。表 4 所示為中央處理電腦及控制用電腦之 MTBF 及 MTTR (故障修復時間)。在單一方向中平均 210 小時即停止 2.3 小時，停止時之 Fillsave 裝置，須另裝成將電腦加以 Dual 或 Duplex 化。

表 4 電腦系統之信賴性

	MTBF (h)	MTTR ** (h)
中央處理電腦 *	210	2.3
控制用電腦	1,400	2.6

* 含周邊裝置

**假定常有保全員

5.3 控制水準之階層性與信賴度

用於交通管制之機器及設備有障礙時，為避免產生交通混亂，若在控制水準上也裝設階層性時，則控制水準即不致下降。在控制水準使具有階層性時，電腦之構成採用機能分擔多階層方式。

圖 22 所示為控制水準之階層性與機器體系之對照圖。圖 23 所示為由於機器之故障引起之控制水準的下降。表 5 所示為由各控制水準所求出之故障率，及效用率 (Availability)，此處所謂效用率係由下式所求出：

$$\text{效用率} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100(\%)$$

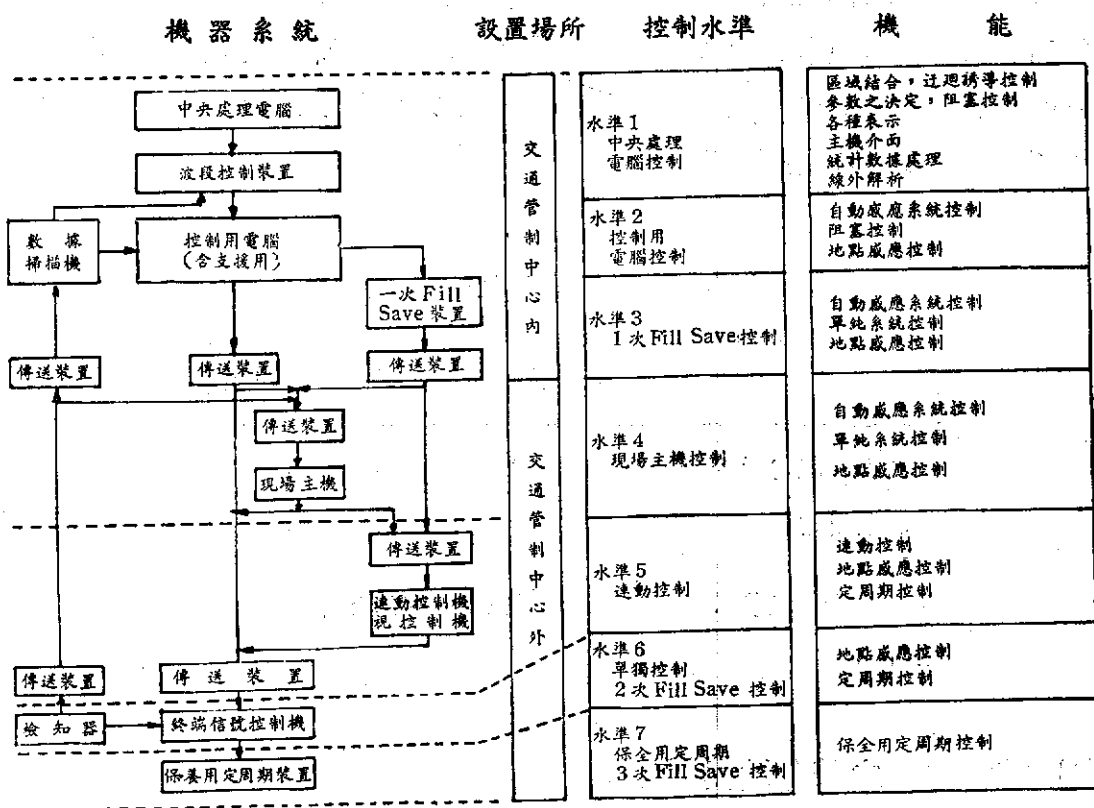
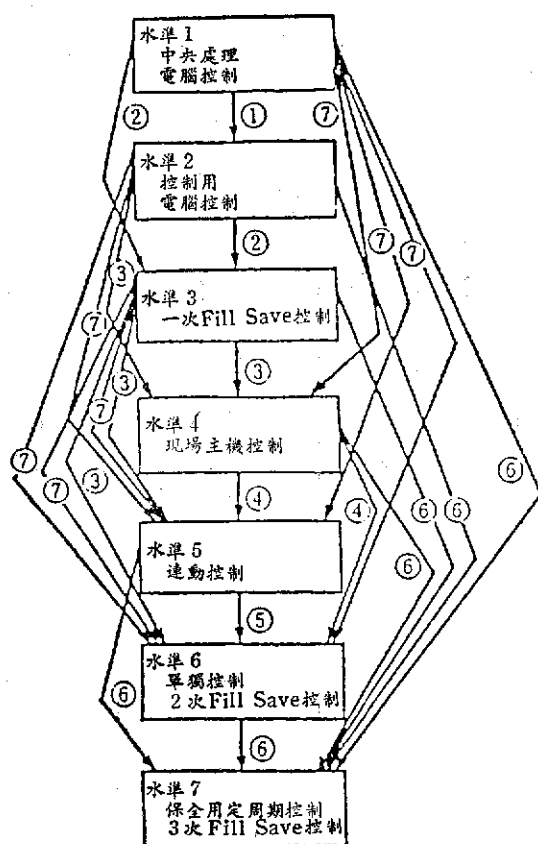


圖 22 機器系統之階層性與控制水平之階層性



- ①中央處理電腦波段控制裝置系統「當」
- ②控制用電腦系統「當」
- ③1次 Fill save 裝置系統「當」
- ④現地主機控制「當」
- ⑤連動控制系統「當」
- ⑥端末信號控制回路系統「當」
- ⑦傳送系統「當」

圖23 系統之調整條件

表 5 控制水準別信賴度

信 賴 度 控制水準	故障率 ($10^{-6}/h$)	MTTR (h)	用率 (%)
中央處理電腦控制水準	7,263	4.3	97.0
控制電腦控制水準	2,481	4.6	98.8
終端信號控制水準	169	4.6	99.9

表 6 所示為求出各控制水準之信賴性，作為基礎資料之各種機器之信賴度。這些信賴度，由於今後之技術開發而得提昇。表 7 為在各控制區域放置單純區域分擔方式與機能分擔多階層方式之比較。

表 6 各系統機能不同水準別信賴度

信 賴 度 機器 Block	故 障 率	MTBF (h)	過 酷 係 數	MTBF (h)
終端信號控制機	($10^{-6}/h$) 169.0	5,912	3.0	1,972
車輛檢知器	38.3	26,103	3.5	7,458
終端用 Modem	163.2	6,127	2.2	2,785
檢知器用 Modem	163.2	6,127	2.2	2,785
終端情報分配器	224.0	4,464	1.1	4,058
檢知器情報分配器	170.0	5,876	1.1	5,342
控制用控制裝置	626.6	1,592	1.1	1,452
中央處理電腦	4,348.0	230	1.1	210

表 7 機能分擔各階層方式與

評 價 項 目 方 式	機 能			信 賴 度	運 用 性	
	連線處理力	線外解析	調整機能		電腦必要面積	管制官介入 難 易 度
機能分擔 多階層方式	可能控制 路口數約 800	與中央處理 電腦併用，控制 效果並不下降	電腦系統 自身也有	可能將其 他次系統 之信賴度 與電腦系 統之信賴 度加以平 衡	作初期系統 為大，全系 統則小	在程式水平 之介入，較 地域分擔方 式容易
單純地域 分擔方式	可能控制 路口數約 160	在解析時， 需用其他 電腦，或將 電腦分夜 間進行之	在電腦自 身並沒有 特定「當 」時，可與 其他最近 水平之控制	與其他次 系統比較， 電腦系統 之信賴度 低	作初期系統 小，全系統 則大	從typewriter 等之介入之 難易度與前 者相同

5.4 情報處理所必要之能力

電腦應俱備之情報處理能力，依其控制方法、號誌十字路口數、可變標誌數、迂迴誘導表示板之設置數等而不同，這也受到交通規則實施程度、或交通處理上敏感 (Critical) 之重要十字路口所佔比例所左右，情報處理能力必須依電腦之計算速度之時間的限制，與依照電腦所具有之記憶容量之容量限制分別加以考慮。又將電腦使用率之倒數，當作安全係數時，一般安全係數都選 1.5~2.0。

表 8 所示為多階層方式中央處理電腦之主要程式之概要。表 9 所示為所用中央處理電腦，其代表性之程式。表示各命令語之實行頻率。假設這些表中之檢知器數為十字路口數之 2 倍，一步驟 (STEP) 處理所需之時間為循環時間 (Cycle Time) 之 5 倍，而表示中央處理電腦之控制能力者如圖 24 及圖 25。

單純地域分擔方式之比較表

評價項目 方式	擴充性		保全性	經濟性	軟體
	硬體	軟體			
機能分擔 多階層方式	為提高其相容性，最好數據掃描機與控制用同一電腦	不須修正監視器 (Monitor)	控制水準不須下降，可能保養點檢，控制用電腦為 core base，容易保養	初期成本高 總成本低	監視器係簡化者，overhead time 縮小，容易支援也可使用 compiler
單純地域 分擔方式	沒有問題	有修正監視器之可能	電腦使用單一機種即可，信賴性低之周邊裝置之數量變多	初期成本低 總成本高	須有 Monitor 之設計，程式語言為一種 (Assembler level)

表 8 中央處理電腦程式諸元

程 式 名 稱	頻 率	實 行 步 驟	5 分 間 反 覆 回 數	容 納 場 所
情 報 平 均 化 1	10秒	120	$300/10 \times 8xy$	C
情 報 平 均 化 2	5分	120	SD	D
檢核檢知器情報	"	180	SD	D
交岔路口報作成	"	350	x	D
阻塞情報作成	"	350	xy	D
參數重要交叉點作成	"	160	xy	D
前面阻塞檢知	"	170	xy	D
可 變 顯 示	"	420	xy	D
阻 塞 控 制	"	140	xy	D
區段結合分離	"	200	xy	D
時 差 決 定	"	580	x	D
迂迴誘導指示	"	400	xy	D

SD：檢知器數

x ：控制交岔路口數

y ：重要交岔路口混入率

D：Drum (或Disc)

C：Core

圖24係表示從中央處理電腦之演算速度來看時間上的限制條件，假設安全係數為1.5時，循環時間為 $1.9\mu s$ 及 $1.0\mu s$ 之二個例子。位元數以16為標準。重要十字路口混入率為表示包含在控制對象十字路口的複雜的十字路口的比例。從圖24可知，中央處理電腦之時間限制，在十字路口數達到數千個以上時即變大，但十字路口在2,000個以下時則不成問題。

表 9 中央處理電腦之程式及命令頻率

命 令	程 式	頻率 () 內表示%	
		程 式 1	程 式 2
Load		67(26)	52(22)
Store		77(30)	56(24)
加	算	25(10)	17(9)
減	算	3(1)	2(1)
論	理 積	0(0)	14(6)
排 他 理 論 和		6(2)	5(2)
分 歧	1	15(6)	39(17)
分 歧	2	19(7)	15(6)
Test		13(5)	12(5)
Shift		27(10)	21(8)
乘	算	0(0)	0(0)
除	算	0(0)	0(0)
入	出 力	0(0)	1(0)
計		252(100)	234(100)
1 步驟處理時間		4.59×循環時間	4.61×循環時間

圖25係表示中央處理電腦之記憶容量限制。由於中央處理電腦之處理頻率較低，因此程式及數據之容納場所，可用 Drum 或碟片等之外部記憶裝置。

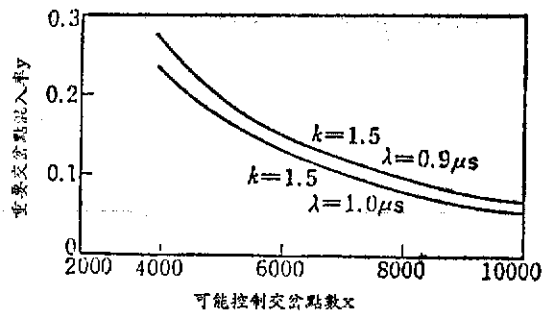


圖24 中央處理電腦之速度上限條件

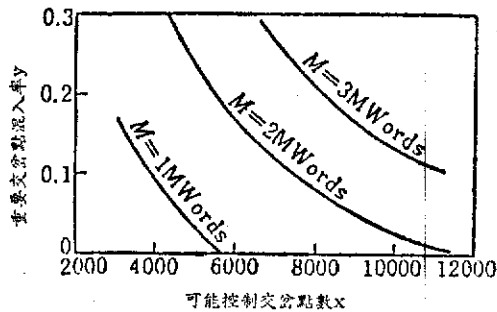


圖25 中央處理電腦之容量上限條件

表10係以多階層方式來作控制用電腦之主要程式的概要。表11則為控制用電腦程式之命令語的實行頻率。以上表中係假設控制用電腦之一步驟平均處理時間為循環時間之 3.5 倍，如圖26及圖27。

圖26係由循環時間為 $1.0 \mu s$ 與 $1.5 \mu s$ 之控制用電腦的時間限制條件所看到的可能控制十字路口數，若控制對象十字路口數變多，適當之十字路口數如以 800 個十字路口之單位，來增設控制用電腦。控制用電腦將信賴度提高也是很重要的，因為是用 core 或 IC 素子作為主記憶部之主體，不附帶 drum 或 disc。

表10 控制用電腦之程式諸元

程 式 名 稱	頻 率	實 用 步 驟	5 分 間 反 覆 次 數
數 據 收 集	$\begin{cases} 10 \text{ 秒} \\ 5 \text{ 秒} \end{cases}$	$\begin{matrix} 2 \\ 2 \end{matrix}$	$300/10 \times 8xy$ SD
秒 控 制	1 秒	80,260	$300 \times x, 300 \times xy$
保全用定周期復歸	1 分	70	$5 \times x/10$
參 數 配 列	5 分	70	x
百 分 比 控 制	1 %	260	$300 \times xp$
錯 誤 處 理	1 秒	50	$300 \times x/10$
Monitor	50 毫秒	400	20×300

SD：檢知器數

y ：重要交岔路口混入率

x ：控制交岔路口數

p ：自動感應系統控制交岔路口混入率

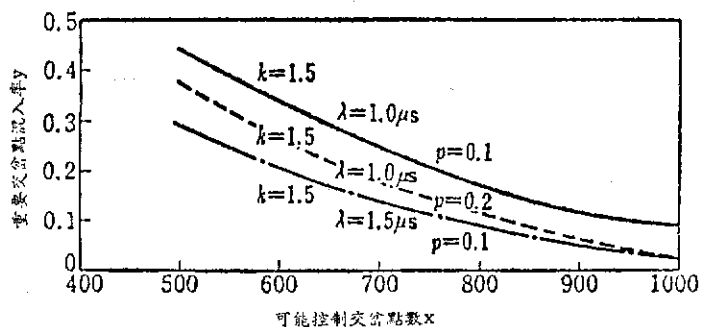


圖26 控制電腦之速度上限條件

表11 控制用電腦之程式及命令頻率

命 令	程 式	頻率 () 內表示%	
		程 式 1	程 式 2
Load		85(24)	54(21)
Store		36(11)	25(10)
Index	處 理	63(18)	28(11)
加	算	2(1)	6(3)
減	算	0(0)	15(6)
乘	算	0(0)	0(0)
除	算	0(0)	2(1)
排 他 理 論 和		2(1)	5(2)
Memnory Increment		0(0)	6(2)
分	歧	84(24)	65(25)
Test		46(14)	34(13)
bit	處 理	24(7)	7(3)
Shift		0(0)	2(1)
入	出 力	0(0)	3(2)
計		342(100)	252(100)
1 Step 處理時間		3.1×cycle time	3.3×cycle time

圖27所示係利用主記憶容量在16K及32K時的容量限制上之控制，來表示對象十字路口數之關係。從此表可知，利用32K之控制用電腦，大約以800個十字路口作一個單位來增設時，即可與速度限制條件取得平衡。

圖26及圖27均為另外裝上數據掃描機之能力。控制對象十字路口

低於數百個時，且重要十字路口混入率較少時，不須另外加裝數據掃描機，只要把數據掃描機之機能交給控制用電腦來執行即可。

裝數據掃描機時，有控制用電腦、與具有同機能者、及專用者。此種選擇，依照掃描周期上如何來收集檢出情報而定。例如使用通常電腦時，一檢出情報之掃描，必須約 $5\ \mu\text{s}$ ，假設掃描周期為 $50\ \text{ms}$ 時，則可處理語數為 $10\ \text{K Byte}$ 。在一檢出情報，例如使用 $2\ \text{Byte}$ 時，即可處理 $5,000$ 點之檢出情報。若使用專用之掃描，一檢出情報之掃描時間，可能為 $2\ \mu\text{s}$ 程度，在掃描周期 $50\ \text{ms}$ 中，可處理之語數為 $25\ \text{K Byte}$ ，如此即可處理 2.5 倍之檢出情報。

以一台電腦處理全部單一方式，除前述之信賴度外，由於數據掃描機之關係，時間之限制也大，在控制對象十字路口數與檢知器數多時，又能造成成本效益降低。在利用單一方式控制規模上，若中央處理電腦為 $32\ \text{K Byte}$ 時，在 300 個十字路口上有 600 個檢出器， 140 個十字路口上有 560 個檢出器之報告。Toronto 交通控制，除中央處理電腦外，數據掃描則使用 $16\ \text{KW}$ 之電腦，在 $1,000$ 個十字路口上使用 $2,000$ 個檢知器。

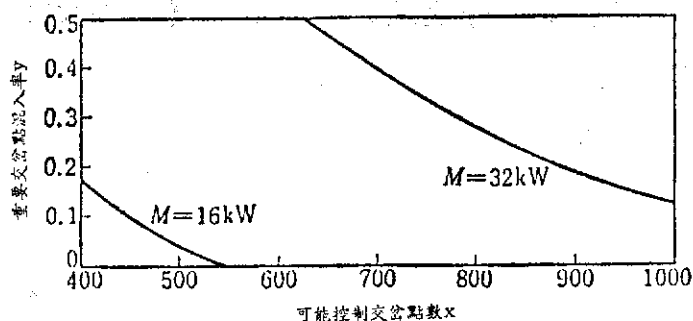


圖27 控制電腦之容量上限條件

5.5 交通流動檢知裝置

交通流動之檢知，有車輛檢知器（車輛感知器），CCTV，用電

話通報，及在寒冷多雪地有效車線檢知器等等。另外有影響交通氣象情報，及路面情報檢知器。其中，由利用 CCTV 或電話所得情報，因為機械性之檢出困難，品質上不同之情報可經視覺或聽覺獲得，在控制時須由管制官介入加以支援。

關於 CCTV 及電話，與其他場所之利用，並沒有特別不同，關於氣象情報及路面情報之檢知，將於次章敘述。此處僅以車輛檢出器為主體來加以敘述。在今後之交通管制上，有可能將汽車排氣或大氣污染之情報加以討論，此時就必須使用污染情報的檢知器了。

1. 車輛檢知器（車輛感知器）

車輛檢知器之開發，可以說是為了獲得交通感應式號誌之開發及車輛交通統計資料而設置之交通量自動測定裝置 (Traffic Counter)。初期之交通感應式，因為只要瞭解有無後續車輛即可，因此利用車輛之重量移動壓力感應型橡膠管式，或踏板式即可滿足，自動測定裝置在交通量少，在 3 軸以上之多軸車少的時代，即具有充分之實用價值，隨着交通量增加，大型多軸車增加，為提昇號誌控制效率，對車輛檢知器所要求之機能變高，在精度、安定性，壽命、設置條件、價格等方面而言，現在以超音波式或感應圈式 (Inductance Loop，以下略稱為 Loop 式) 之車輛檢知器為主體。

2. 車輛檢知器應具備之條件

表示交通流動要件有交通量、密度、車輛佔有率 (Occupancy)、速度、車頭間隔 (Headway)、車間時間間隔 (Gap Time)、停等車隊長度等，其中密度情報之直接測定，正如監視隧道內之交通流量一樣，用於交通流量較規則時，一般道路由於交通流量不規則，計數誤差之累積較大，故少用於控制情報上。

車輛檢知器一台可以單獨或組合之方式來測定交通流動，和利用 Doppler 效果之雷達，或超音波 Doppler 形一樣，在原理上，可同時測

定交通流量、佔有率、速度、車頭間隔及車間時間間隔等，由於運用上的不方便及精度的問題很少使用。結論是，車輛檢知器要能正確測定交通量、佔有率、及速度，就必須符合下列之條件。

(1)台數之計數精度高且安定，誤差能作統計上之修正。

(2)時間佔有率之測定，車輛存在時間之檢出精度高、且安定，誤差能作統計上之修正。

(3)在佔有率，或停等車隊之測定上，車輛之存在檢知，可做長時間且正確的施行。

(4)速度、佔有率、密度、停等車隊長度等，作為二次情報，在中央演算處理時，檢出輸出信號，須能適合演算處理者。

(5)設置在屋外之檢知器，須能承受溫度、濕度、雨雪、車輛排氣等之環境條件。

(6)由於多數設置在屋外，須調整，保養容易，且長壽命。

3. 車輛檢知器之種類

檢知器之機能，基本上分為在檢知範圍上能檢知車輛存在之存在型 (Presence Type) 與在檢知範圍內只能檢知通過車輛之通過型 (Motion 或 Passage Type)。只計算交通量時，不僅存在型，通過型也可。在測定佔有率或候車行待時，則必須為存在型。表12為各種檢知器之機能及特徵一覽。表13所示為超音波式及 Loop 式車輛檢知器之詳細規格。

車輪壓力感應型也稱為壓力式，它是利用車輛重量來做接地壓力的。金屬感應型也稱為電磁式，由於車輛係金屬，為磁性體，或電導體，因此加以利用。形狀感應型有使用紅外線或雷射之光電式、超音波式、雷達式，車輛為具有某種形狀，係光的不透過體，係利音、電波之反射體者。噪音式或雜音波式，係利用從車輛發生之音或電波能源的。

表12 各種車輛檢知器之比較

方	式	精 度	安 定 度	設 置 易 難	壽 命	消 電 力	車 線 區 分	存 在 檢 知	I 台 作 方 向 判 別	速 度 測 定	車 長 判 別	實 例 (註)	價 格	問 題	問
車輪壓力感應型	橡膠管	稍良	良	容易	短	小	不可	不可	不可	組合即可	不可	多↘	價廉	橡膠管易斷	不易固定在路面 必要作精巧之調整
	踏 板	良	良	困難	中	小	可	不可	不可	組合即可	不可	少↘	價廉	易損傷道路	
	電子開關	良	良	容易	短	小	可	不可	不可	組合即可	不可	少↘	價廉	不易固定在路面	
	口一七式	良	稍不良	困難	中	小	可	不可	不可	組合即可	不可	無	高價	必要作精巧之調整	
金屬感應型	磁 氣	良	稍不良	困難	中	小	可	可	不可	組合即可	可	國外只有多↗	高價	有金屬則感度下降	Loop之壽命受路面 強度之影響
	線 圈	極良	良	稍困難	長	小	可	可	不可	組合即可	可		價廉		
形 狀	光 電	不良	良	稍困難	中	大	不可	可	不可	組合即可	不可	少→	高價	燈泡之交換，污損保養	無線局機照 操作者資格 發信管之壽命與價格 強風(30m/s)即流失
	雷 達	良	良	容易	中	大	可	可	組合即可	組合即可	組合即可	少→	高價		
	Dopler 雷達	良	良	容易	中	大	可	不可	可	可	可	少→	高價		
	超 音 波	良	良	容易	長	中	可	可	組合即可	組合即可	組合即可	多↗	稍高價		
	Dopler 超音波式	良	良	容易	長	中	可	不可	可	可	可	少→	高價		
其 他	噪 音	不良	良	容易	長	小	不可	可	不可	不可	不可	無	價廉	外來噪音即生錯誤動作	無法檢出柴油車
	雜 音 電 波	不良	良	容易	長	小	不可	可	不可	不可	不可	無	價廉		

(註) ↗增加傾向，↘減少傾向。

表13 超音波式及Loop式車輛檢知器之規格及性能

方 式	超 音 波 式			Loop 式		
構造及動作	1.發信回路、受信增幅回路、判別回路及電氣音響，音響—電氣變換器。 2.將超音波束向道路送出，檢出從車體而來之反射波或因車體之波束遮斷。 3.發信素子有陶磁，可動線圈等。			1.由埋設在路面之Loop(絕緣電線2mm ²)與其相接續之發信回路、增幅回路、判別回路所構成。 2.用電子回路檢出由於金屬體之接近而變化之Loop阻抗。 3.也有補償Loop之偏差(drift)之回路者。		
代表性種類	1.反射波受信形。2.波束遮斷形。 3.Dopler形。 1.脈衝形。2.CW形。			1.交流 Bridge 形。2.移相形。 3.Bead 形。4.差動形。 1.無補償形。2.補償形。3.微分形		
精 度	97% (反射波受信形之例)			99.7% (補償式之例)		
周圍溫度	-20°~+60°C或-30°~+60°C			同左		
應 答 速 度	0~120km/h (Dopler形為4~120km/h)			0~180km/h (非通過形者)		
存在檢出(阻塞判別)	Dopler形外者均可			除微分形(通過形)外均可		
分 解 能	停止時3m以上，60km/h時 6m以上			停止時2m以上，60km/h時5m以上		
消費電力	20~30VA (AC100V或DC24V)			5~10VA (AC100V或DC24V)		
設置工事	不要路面工事，須有支柱，不須停止交通			須要交通工事，交通停止六小時		
速度測定	Dopler形一台即可，其他須2台組合即可			在5m間隔由2台組合測定之		
車長測定	Dopler形一台即可，其他與Loop式同			由2Loop理論判定，多Loop演算判定之		
方向判別	Dopler形一台即可，其他須2台組合之			也有單獨即可能者		
佔有率測定	Dopler形不可，脈衝形則將脈衝作為時鐘利用即可			除微分形(通過形)以外均可		
適用方式	超 音 波 式			Loop 式		
	Dopler形	反射波受信式	波束遮斷形	無補償形	微分形	補償形
適當之檢知情報	地點速度 交通量 車長判定	交通量 佔有率 阻塞判定	交通量 地點速度 車長判定	交通量 阻塞判定	交通量	交通量 佔有率 阻塞判定 地點速度 車長判定
不太適當之檢知情報		地點速度 車長判定	佔有率 阻塞判定	地點速度	地點速度 車長判定	
不適當之檢知情報	佔有率 阻塞判定			佔有率 車長判定	佔有率 車長判定	

4. Loop 式車輛檢知器

(1) 動作原理

Loop 式車輛檢知器，為埋設在道路內絕緣電線的感應線圈 (Inductance Loop)，當車輛接近時，其電氣之常數即發生變化，利用此種原理加以檢知者。電氣常數變化之檢知方法，有以阻抗 (Impedance) 素子形成 Loop 之 Bridge 方式，由共振素子構成之周波數，或相差檢知方式等等。

圖28係位相差檢知方式之回路方塊 (Block) 線圖，在圖2⁸，以 Loop 作為發信線圈之發信回路，與共振回路周波數相等之周波數，當車輛接近 Loop 時，Loop 之感應即減少，發信周波數即發生變化。與發信周波數之變化所生之共振回路周波數之位相差，在達到一定值以上時，即由輸出回路產生車輛檢知輸出，控制回路及可變 Reactance 回路，可修正因溫度、水分、或 Loop 變化所生 Loop 常數之變化，這是一種為使位相辨別基準之共振回路周波數達到最適值之回路。由於道路破損所引起 Loop 損傷，可由發信回路之監視檢知，發出警報輸出。

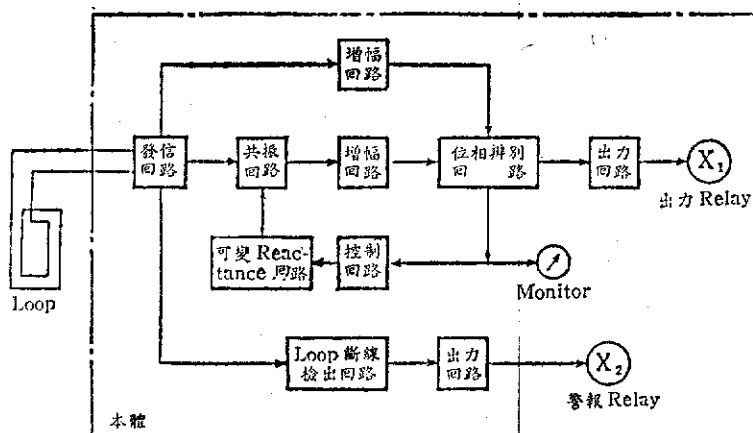


圖28 Loop 式車輛檢知器方塊線圖

(2) 鐵筋之影響

在道路有鐵筋、鋼板，或地下鐵等之金屬構造物時，它將會影響檢知感度。圖29所示之例為格子狀之鐵筋，或鐵板與 Loop 間之距離，對相當四輪車之標準鐵板檢知感度。周波數變化率 $\Delta f/f$ ，為檢知水準之尺度， Δf 為隨輕四輪車鐵板所發生變化之周波數， f 為原來之周波數。

周波變化率在 0.05% 時，即充分到達檢知水準，在輕四輪車，Loop 與鐵板，或鐵筋距離大約 10cm 即可檢知。

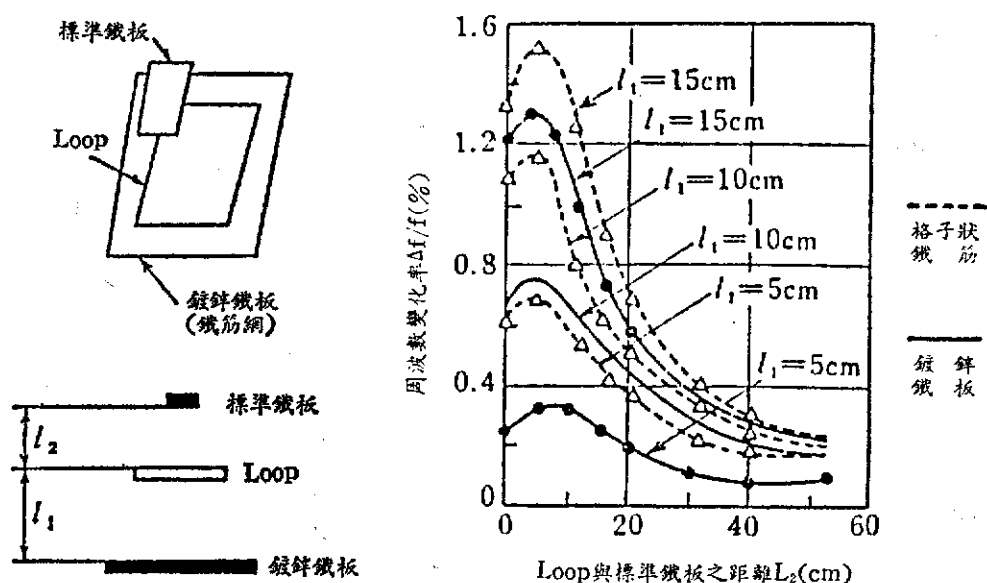


圖29 Loop 式車輛檢知器對鐵筋及鐵板感度之影響

(3) 分解能

可辨別 2 台車輛之最少車間間隔，我們稱為分解能。分解能係車輛進行方向之 Loop 之長度，包含車輛檢知器之輸出回路的繼電器 (Relay) 在內之動作遲延，可由車輛進入速度來決定。圖 30 所示，為 Loop 長度 1.5m 時，車輛速度 $V\text{km/h}$ 與分解能 dm 之

關係。從圖上可知，分解能約與 Loop 之長度相等，車間間隔 3m 以內仍可辨別。一般標準的車輛檢知器，其分解能為 Loop 長度之 1.5 倍。車輛檢知器之動作遲延時間 T_d ，在圖例為 20ms。 T_d Loop 長/車輛速度時即無檢知輸出。在圖上所示，270km/h 為其限界速度。160~180km/h 之速度在實用上沒有問題。

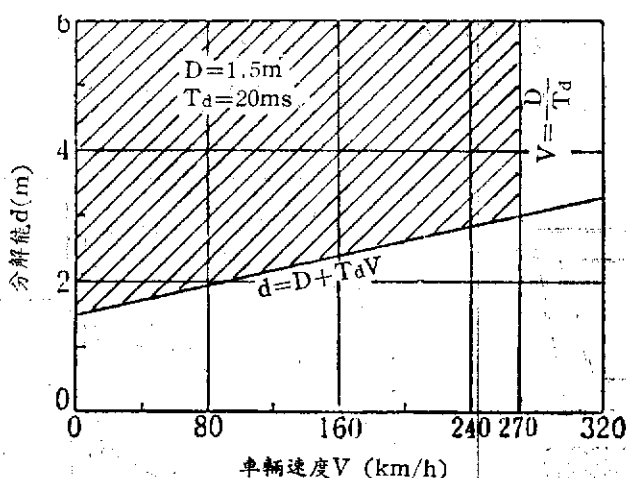


圖30 Loop 式車輛檢知器之分解能

(4) 車種別之感度

使用於車輛台數之計數時，從大型車至輕四輪車，或自動二輪車，均假為 1 台來算。在高速道路實施收費自動化時，也是如此。圖31所示係在道路有或沒有鐵筋時，通過 Loop 上之車種別之感度分佈曲線。大形卡車，由於車體底盤高，在中央部之位相變化即少，在交通控制上，並不須檢知自動二輪車，所以裝設不須檢知二輪車之感度切換開關。

(5) 橫方向之感度

檢知每一車道之交通流量時，必須在車道適當位置埋設 Loop

。標準 Loop 橫方向之寬為 2.5m。圖32所示為自動二輪車通過 Loop 之橫方向各位置之感度。一般汽車佔有 Loop 寬度之 $\frac{1}{4}$ 即可檢知，大型車輛則佔有 $\frac{1}{3}$ 即檢知。

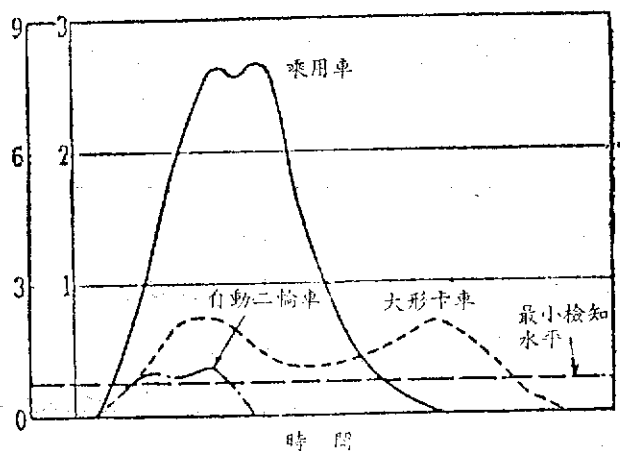


圖31 Loop 式車輛檢知器之感度特性

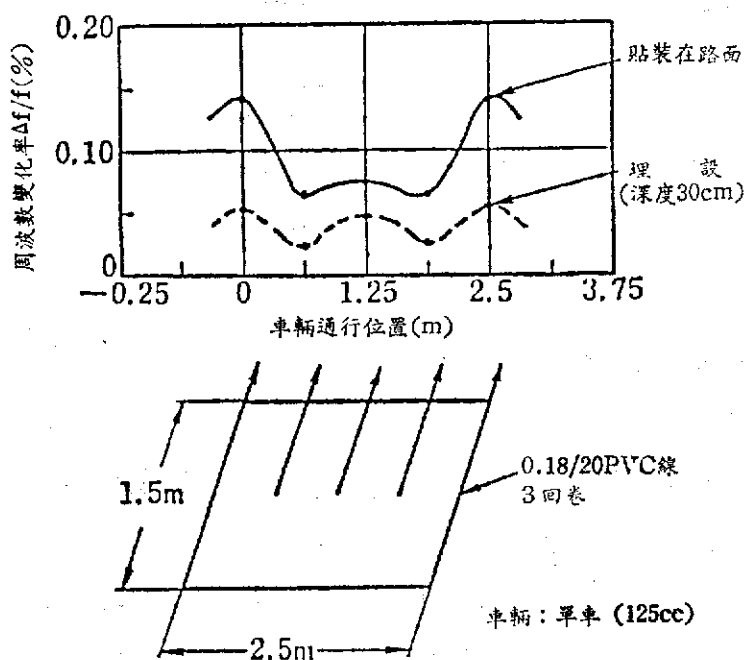


圖32 Loop 埋設感度之影響

(6) 規 格

典型的位相差方式之 Loop 式車輛檢知器主要規格，如表14所示。

表14 Loop 式車輛檢知器之主要性能

項 目	性 能
發 信 周 波 數	$50 \pm 5\text{kHz}$
檢 知 可 能 車 輛	自動二輪車以上
檢 知 可 能 速 度	$1 \sim 160\text{km/h}$
分 解 能	車輛進行方向Loop尺寸之1.5倍
Loop Inductance 適用	$30 \sim 300\text{mH}$
Loop 引 出 線 長 度	50m以下
台 數 計 數 精 度	99.7%以上
顯 現 動 作 模 式	$S: 10 \sim 40\text{s}$ $M: 2 \sim 8\text{min}$ $L: 1\text{h}$ 以上
動 作 溫 度	$-20 \sim +60^{\circ}\text{C}$
消 費 電 力	7 W以下

5. 超大型 Loop 式佔有率檢知器

(1) 動作原理

此係空間佔有率，或車隊長度測定用之 Loop 式車輛檢知器的一種，動作原理也幾乎一樣。超大型 Loop 式係將 Loop 佈設於車輛進行方向 30—150m，橫方向 1~4 車道之區域，將其中之車輛台數以類比輸出取出。因為 Loop 較大，且係以類比輸出取出，故一般採用 Bridge 式。

圖 33 為超大型 Loop 式佔有率檢知器回路方塊圖。超大型 Loop 成為 Bridge 之一邊，超大型 Loop 內沒有車輛時，與 Bridge 取得平衡。由於車輛存在之程度，其 Loop 之阻抗即生變化，若檢出其變化之程度，即可得到與空間佔有率成比例之直流電壓。修正回路，係將依環境條件變化之 Loop 常數加以補正，車輛不存在時，Bridge 經常維持在平衡狀態，又信號變換回路，係將輸出電壓或周波數，變換為數位符號，變換之佔有率輸出，可利用傳送裝置，送至中央之演算處理裝置。

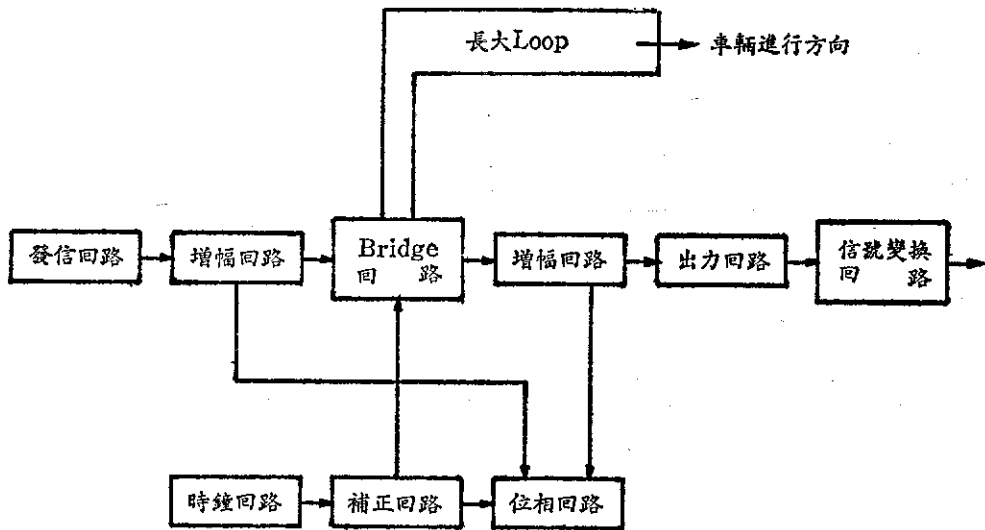


圖 33 超大型 Loop 式佔有率檢知器方塊線圖

(2) 特性

佔有率之輸出值，以百分比表示之。Loop 內沒有車輛存在時，為 0%，車輛完全佔有即為 100%，在十字路口或高速道路之出入口，所發生具有某種程度之車間間隔之等候車隊長度，可以 100% 之值調整之。

圖34為車輛存在台數與輸出值之關係，空間佔有輸出值%，可以直接換算為等候車隊長度。

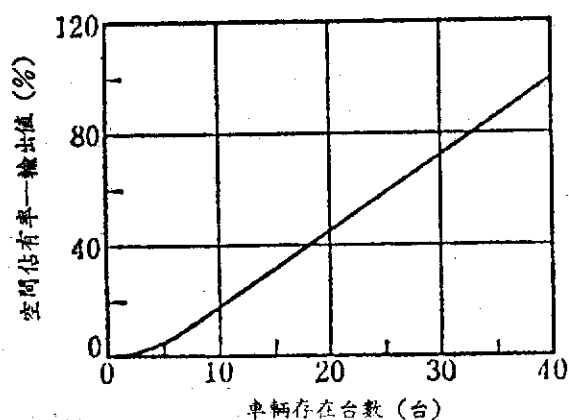


圖34 佔有率實測例

(3)規 格

標準之超大型 Loop 式佔有率檢知器主要規格，如表15所示。

表15 超大型 Loop 式佔有率檢知器之主要性能

項 目	性 能
檢 知 對 象	對向輕三輪車以上之車輛所構成車輛羣之空間佔有率0~120%
適 用 場 所	無配筋鋪裝道路
Loop 尺 寸 法	寬：3~15m，長度：150m以下
Loop 引出線之長度	15m以下
檢 知 出 力	與Loop 內所存在之車輛羣之占有面積相對應之直流電壓出力或周波數出力
精 度	80%以上
消 費 電 力	45W以下

6. 超音波式車輛檢知器

超音波式車輛檢知器，有反射波受信型、波束遮斷型、Dopler型，在超音波之發射上有使用脈衝波及使用連續波者。使用脈衝波之反射受信型，最為普及。送波器與受波器兼用一個。在送受波器上，有使用如鈦酸、鋇酸鋁電歪振動子的陶磁素子，或用可動線圈者。

超音波使用人之聽覺感覺不到 20KHz 以上時，考慮到空氣中音波吸收、指向性、雜音、周波數、檢知距離、檢知對象物體之形狀等，而決定其周波數。

超音波車輛檢知器對超音波波束投射角度，必須慎重加以調整，但完全之存在型檢知器不必如 Loop 式車輛檢出器一樣，須要挖掘路面，因此不受道路損傷之影響。且不像雷達式車輛檢知器，無使用資格之限制，故使用漸多。與 Loop 式車輛檢知器比較，交通量之計數精度稍差，但仍可保持97%以上之精度。

(1) 動作原理

超音波式車輛檢知器，由檢知體本體與超音波頭所構成。圖35所示，為使用脈衝波之反射波受信型回路之例子。以一定之反覆周期，其超音波脈衝電氣信號送到頭部時超音波脈衝即向空中發射，依其與車輛距離之時間延遲後，即收到自車輛而來的反射波。反射波在頭部作音響—電氣變換，經送波Remitter(送出器)以受波增幅器，增幅至必要之水準。送波Remitter對於大振幅之送波脈衝，具有大的抑制效果，具有不使微弱反射波衰減而傳送至後段增幅回路之機能。實際上，從檢知對象車輛以外物體的反射，即道路、分離帶、防護板等之不要之反射。此種不要反射，可利用不要反射抑制回路來抑壓，或消去之，只將想要的反射波取出。在波形整形回路，配合車輛台數及時間佔有率，加以調整，自送、受波波型中，取出想要之反射波之過程，如圖36所示。

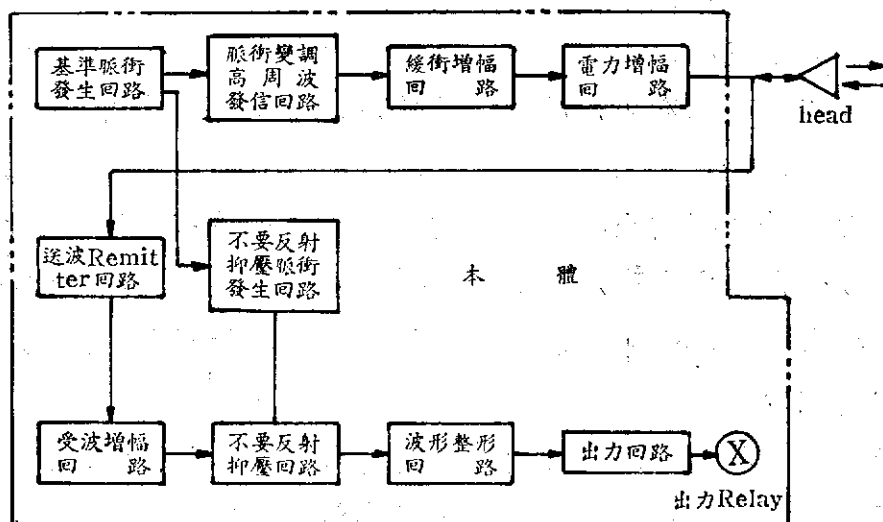


圖35 超音波式車輛檢知器方塊線圖

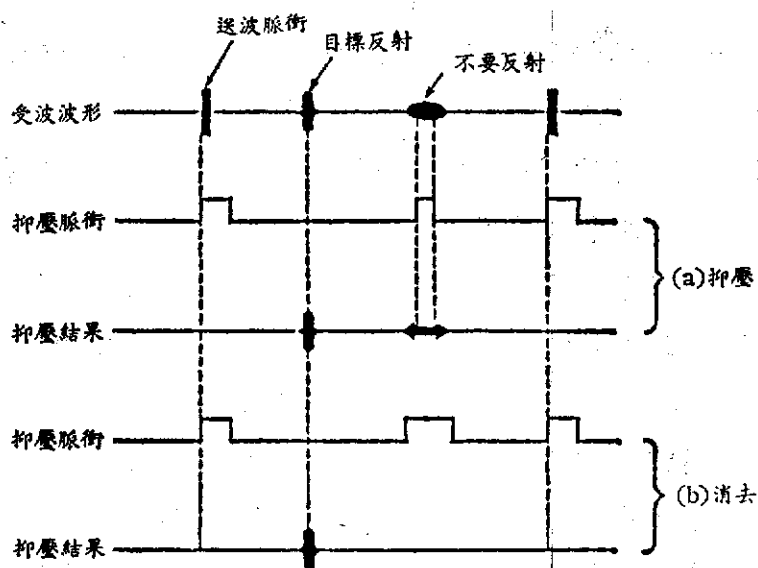


圖36 超音波脈衝方式之不要反射抑壓圖

(2) 指向性

超音波之波束角愈尖銳，送受波之效率較佳，分解能也更提高，但太尖銳時，在車輛阻塞或停止狀態時，即長時間做車間檢知。依其利用目的，也有必要取廣波束角。音風所飄動，為了不使受到風影響，波束角 θ 必須能滿足下式：

$$\theta \geq 4\omega/C \text{ (Radian)}$$

ω 表風速

C 表音速

圖37所示，為一般超音波頭之指向特性，半衰角為 $4 \sim 5^\circ$ ，具有此特性之超音波式車輛檢出器，在風速 25m/s 內，實用上仍無問題。

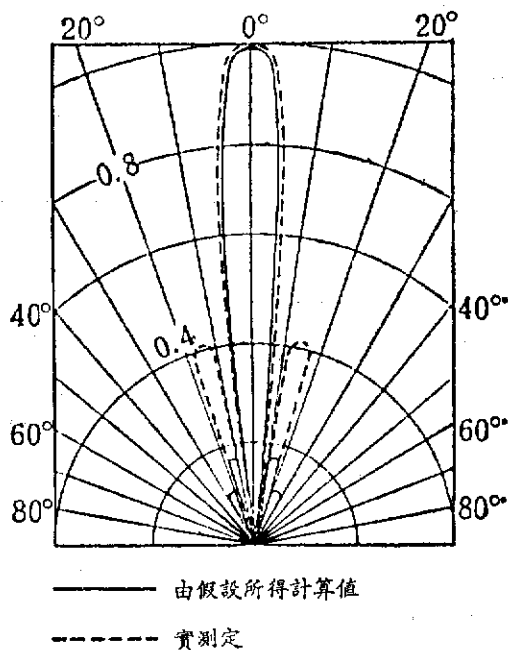


圖37 超音波 head 指向特性

(3)輸出保持時間

脈衝反射波形，係以一定之周期，將脈衝送出，從一台車輛來的反射波，如圖38所示，一般成脈衝羣回來。這是它作為一台車輛而檢知輸出時，必須在每一脈衝，以遲延回路保持其輸出，並在脈衝間架橋。此種保持時間，稱為輸出保持時間。反射波由於受到空氣的渦流及斷層的影響引起音波吸收係數之變動，亦有因車輛之形狀，或異狀通行，而使有效反射波切除者。輸出保持時間短時，對一台之車輛之檢知輸出會出現數次，如此將使計數精度下降。輸出保持時間過長時，分解能即告下降，在時間佔有率之測定上，增加了正的誤差。輸出保持時間，直接影響了檢知精度，在交通量之計數與時間佔有率之測定，須給與適當之時間。在交通量與時間佔有率之同時測定利用上，通常設定為脈衝周期之1.5~2.5倍。

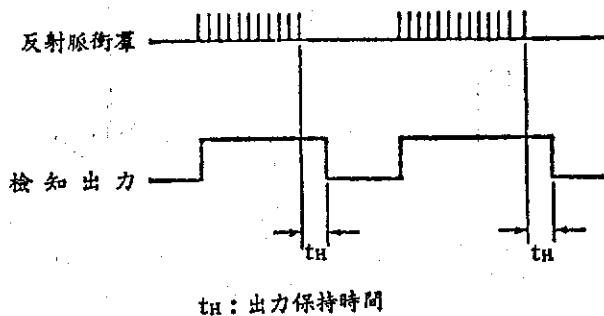


圖38 出力保持時間說明圖

(4)分解能

分解能，由脈衝周期、輸出保持時間、音波波束角、及車輛速度來決定。脈衝周期，從最短車輛之最高速度、最大容許風速

、車輛與超音波頭之最大距離等，加以選擇，通常約 80ms。輸出保持時間為脈衝周期 T 之 2 倍時，對車輛速度 V 之分解能 d ，是為 $2VT < d$ 。最大檢知可能車輛速度 V ，若車長為 L ，波束寬為 D ，脈衝周期為 T 時，即為 $(L + D)/T > V$ 。波束寬 D 以下之車間間隔，即無法辨別。 $T = 80\text{ms}$ 、 $L = 4\text{m}$ 、 $D = 0.6\text{m}$ 時之關係，如圖 39 所示。圖中所示之圖面，為實測結果。高速則由於實驗較危險而未實施。

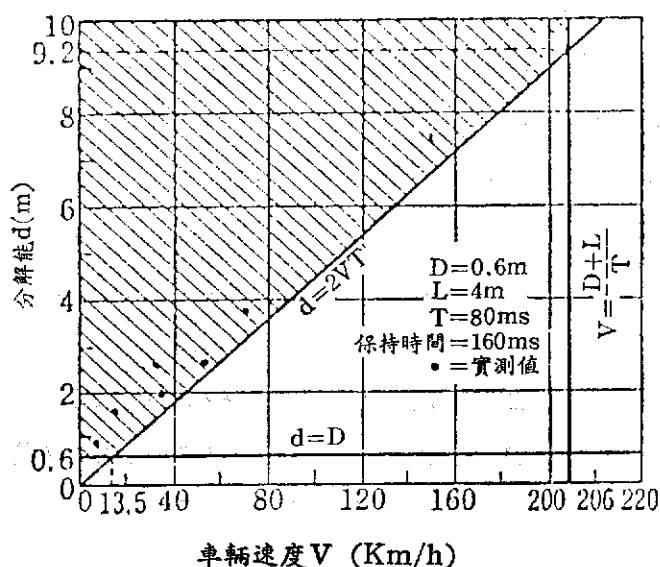


圖 39 超音波式車輛檢知器之分解能

從圖中可知，時速 50km 車輛速度之分解能為 3m。時速 13.5km 以下之車輛速度分解能為 0.6m。又最大檢知可能車輛速度，在理論上為 206km/h，彼時之分解能為 9.2m 以上。

(5) 規 格

典型之脈衝反射形超音波車輛檢知器之規格，如表 16 所示。

表16 超音波式車輛檢知器之主要性能

項 目	性 能
超 音 波 周 波 數	26kHz
電 氣 一 音 響 變 換 素 子	圓筒形電盞振動子
脈 衝 反 覆 周 期	80ms
超 音 波 波 束 角	9°
送 波 器 入 力	5W
檢 知 可 能 車 輛	輕三輪車以上
檢 知 可 能 速 度	0~120km/h
檢 知 可 能 距 離	離頭部3~10m
分 解 度	車輛速度50km/h時車輛間隔3m
台 數 計 數 精 度	97%以上 (沒有併行者)
風 速	25m/s以下
動 作 溫 度	-20~+60°C 或 -30~+60°C
消 費 電 力	15W以下 (AC100V或DC24V)

7. 檢知器之適用法

(1) 交通量之測定

在交通量之測定，一般係如圖40(a)所示，在道路之各車道裝設檢知器。在幹線道路，則在代表交通流動量之1~2車道上，設置檢知器。也有以統計方式加以處理者。不管任何情形，均有車道變更之誤差，分解能以下之車間距離所生之誤差，將一台當做2台以上計數之誤差等等。在設置上，須對車道之通行分佈，加以充分之調查。圖40(b)為將2車線集中加以檢知者，如此設置，

使交通量之計數誤差成在 -20% 以上。但如地點感應式號誌，僅重視車間時間間隔而已，在利用上仍未能充分發揮其機能。圖40(c)為2車道之道路設置3台檢知器之方法，從各種車寬尺寸決定Loop寬與設置間隔，以3 Loop 作理論判斷之方式。3 Loop 以上也可以不規則行駛較多之道路上，則可得較高之精度。圖41(a)為在2車道道路沒有停車時之車線通行分佈之例子，圖41(b)則為停車時車道通行分佈之例子，可知車線通行分佈之變化很大。

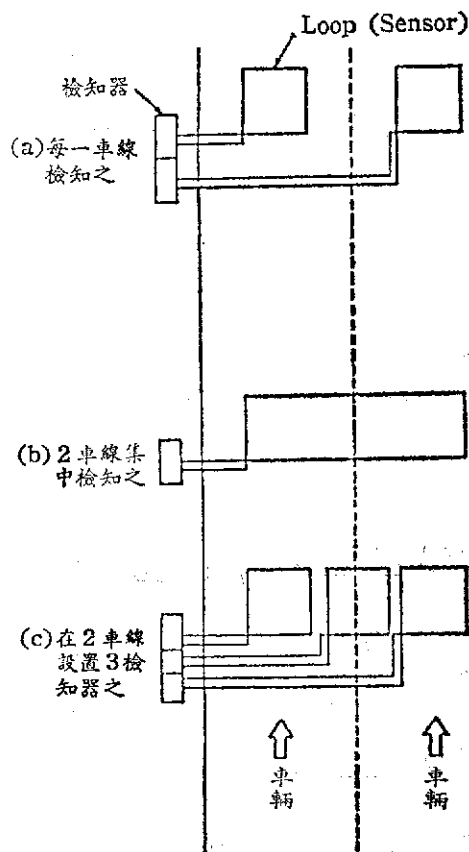


圖40 Loop 式車輛檢知器設置圖

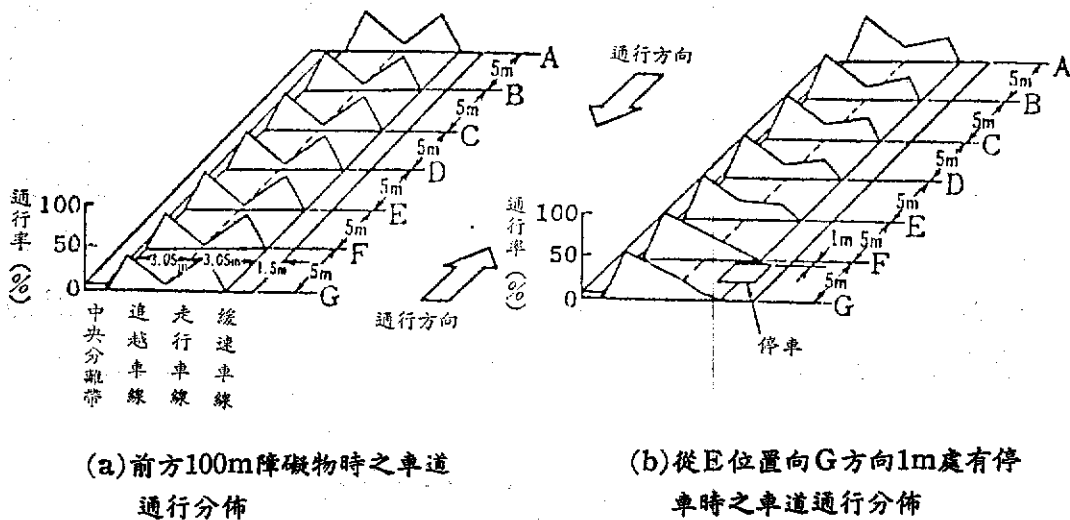


圖41 車道通行分佈

(2) 速度之測定

速度之測定，有用 1 台檢知器與用 2 台檢知器者，用 1 台檢知器時，車輛在於檢知範圍之時間為 T (秒)，平均車長為 ℓ (m)，檢知範圍之車輛進行方向之長度為 L_1 (m) 時，車輛之速度 V_1 如下：

$$V_1 = \frac{3.6 \times (\ell + L_1)}{T} \text{ (km/h) 但 } L_1 < \ell$$

用 2 台檢知器時，2 台檢知器依車輛進行方向 L_2 (m) 距離設置之，若測定通過其間之時間為 t (秒)，此時車輛速度 V_2 如下：

$$V_2 = \frac{3.6 \times L_2}{t} \text{ (km/h)}$$

用 2 台檢知器時之 L_2 ，5 公尺以內車輛不超過 2 輛時可以利用。

(3) 時間佔有率之測定

時間佔有率 O_t ，為在檢知範圍內各車輛之存在時間 t_g (秒) 之總和，佔單位時間 T (秒) 之比例，如下式：

$$O_t = \frac{\sum_{t=1}^n t_i}{T} \times 100 (\%)$$

圖42所示，為在十字路口附近測定時間佔有率時之略圖，測定係用存在型之檢知器。

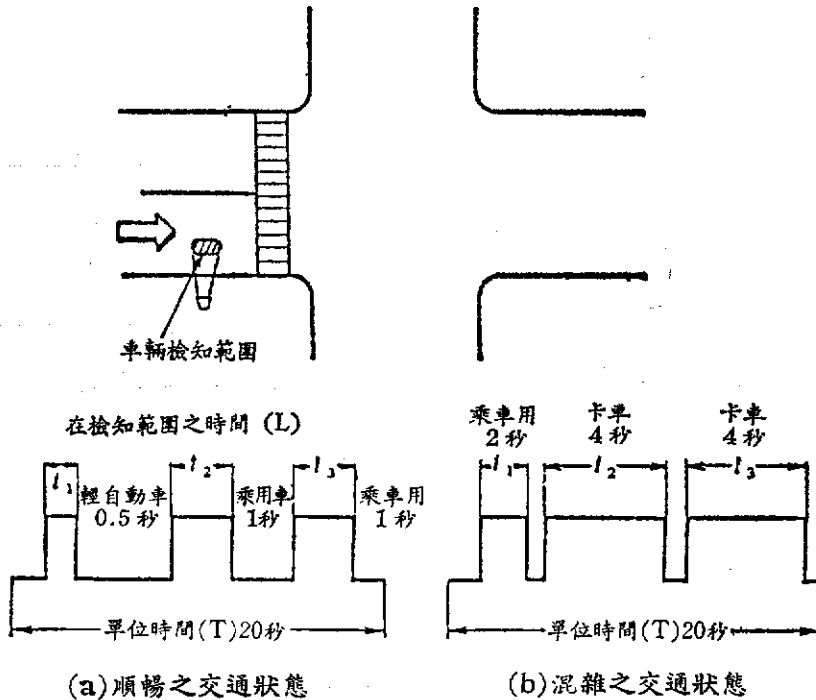


圖42 時間佔有率之測定

(4) 空間佔有率之測定

空間佔有率 O_s ，為各車輛佔有道路面積 S_i (m^2) 之總和，在單位面積 S (m^2) 上所佔之比例，由下式表示之：

$$O_s = \frac{\sum_{t=1}^n S_i}{S} \times 100 (\%)$$

在道路之寬度一定，且車輛之寬度亦為一定時， S 即可換為單位區間長 L (m)， S_t 可換為車輛長 l_i (m)，此時空間佔有率

，即代表車輛之等候排隊長度。

空間佔有率之測定，如圖43所示，一般係使用圍住單位面積或單位區間之超大型 Loop 但亦可利用多數之超音波式，或短 Loop 式車輛檢出器加以推計。

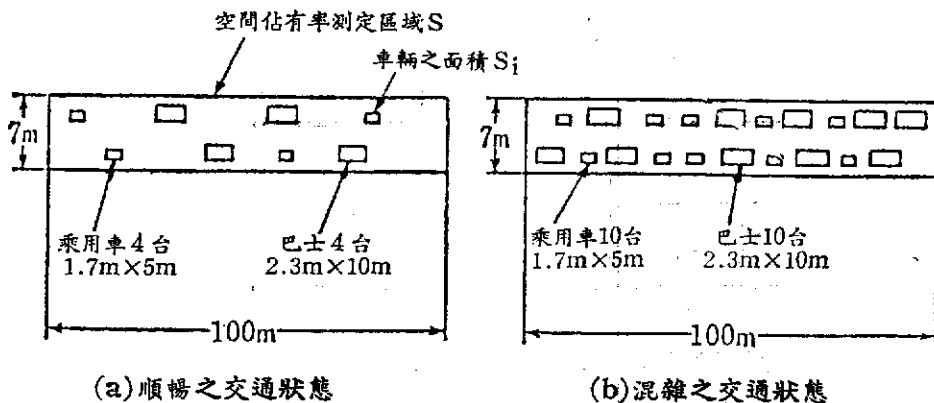


圖43 空間佔有率之測定

8. 車輛檢出器之設置方法

(1) Loop 式車輛檢知器

作為檢知子的 Loop 道路內埋設方法，有直捲方式與成型 (Mold) 方式。直捲方式為在道路上切出深 3 ~ 5 cm，寬 0.6 ~ 1.0cm 之長方形溝，以稱作道路窄溝 (Gut) 或水泥窄溝之切溝器具，在其中埋入架橋 PE 絕緣電線，或其他絕緣電線之方法。成型方式，係預先將作為 Loop 之絕緣電線，以樹脂或橡膠加以成型而加以埋設之方式，在道路鋪設時，埋入水泥或瀝青中。

(2) 超音波式車輛檢知器

超音波式車輛檢出器，如圖44所示，有頭上式、斜上式，及側射式。頭上式或斜上式位在建築限界以上之高度，通常為4.5m。頭上式之頭部裝置，臂變長，美觀上並不佳，多採用斜上式。

以斜上式作各車道之檢知時，其妨礙車輛之高度與容許非檢知中之關係如圖45所示。側射式，因受到併進車輛之影響，無法用於車道別之檢知，使用頭上式時，車輛形狀呈凸狀曲面，有效反射波即減少，時間佔有率也變小，反射波減少之程度，因曲面之形狀與車輛速度而異，我們以速度 30km/h 之 Crown Van 為例，與側射式或斜上式相比，大約減少 30%。就此點而言，以側射式及斜上式較為有利。

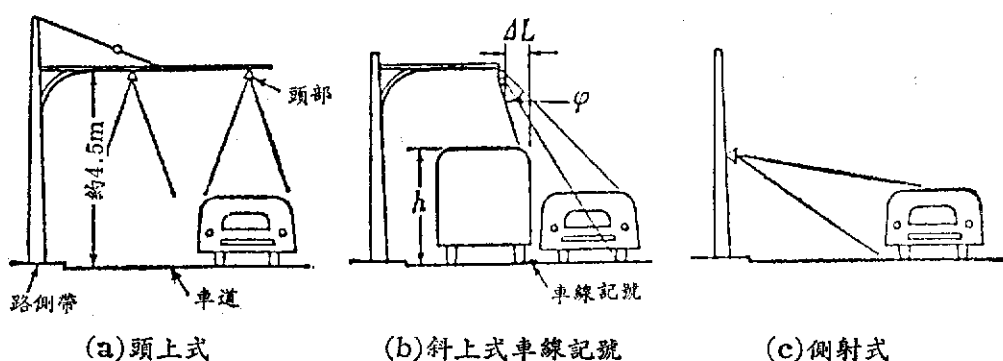


圖44 超音波式車輛檢知器之設置方法

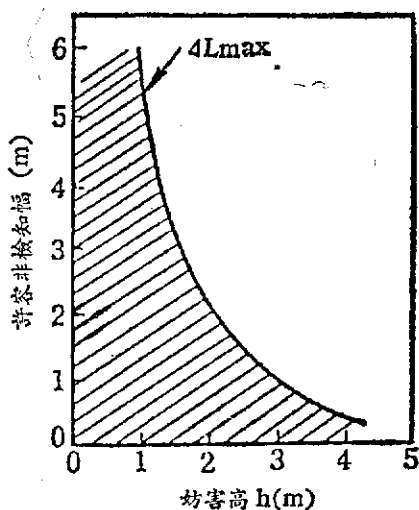


圖45 超音波式車輛檢知器用斜上式時之
妨碍車輛高度與容許非檢知寬度

5.6 終端號誌控制機

用於區域交通管制的終端號誌控制器，有以往即有的固定周期式號誌、系統式號誌，或交通感應式號誌上附加裝置，能接受自中央指令之終端附加裝置型，與最初即設計為電腦控制者。以上這些更依迴路構成或利用目的而分為數種。終端號誌控制器具有對駕駛人直接作用之機能，其信賴性或故障時之對策極為重要。控制機能也比較複雜，且要求時間精度，所以數位半導體迴路較多採用積體迴路。

1. 終端號誌控制器之具備條件

依控制之內容，其具備機能之水準並不相同，但必需滿足下列之條件。

(1) 安全性高

對於交錯之交通流動，沒有同時亮綠燈之異樣，構成時相步驟(step)之順序，與各步驟之時間沒有異樣者。中央之電腦或傳送裝置有異樣時，其控制水準亦不致極端下降。在單獨運轉時，重要十字路口具有交通感應機能，轉換成利用單獨運轉及電腦之運轉。從中央來的指令消失時，得以單獨運轉，為極力避免機能之停止，裝設保安用固定周期裝置或在異狀時自動閃光或熄燈。

(2) 可變性高

從中央來之指令消失時，與鄰近十字路口仍能互相關連，對複雜的十字路口也可充分顯示構成或step數。中央之電腦或傳送裝置有異樣時，其控制水準也沒有極端下降的情況。在單獨運轉時，於重要十字路口具有交通感應機能，能順暢地將單獨運轉移為電腦運轉，這是一種能將簡單的必要機能付加上去的Building Block 方式。

(3) 信賴性高

時間精度為1%或大約1秒者，能承受周圍溫度自 -20°C 、 -30°C ，至 $+60^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度40~90%的環境條件。

(4) 保全性良好

能迅速加以檢查與修復之 Module 化。

(5) 操作性良好

可容易地以手動做單獨運轉，至於時間、時相順序等之設定也很容易，可用來確認其動作狀態。

(5) 容易設置

在使用上及裝設方面並不困難。

這些條件中，固定周期式號誌控制器，或交通感應式號誌控制器，其共通之基本規格條件，由警察局加以規定之。用於區域交通管制系統之號誌，在 Fill Save 機能與其他號誌控制機比較為多段式，具有至第三次 Fill Save 之機能，圖46所示為迴路之概略方塊線圖。

2. 規 格

關於規格之詳細與標準化，警察局正檢討中，現有之方式其概述如下：

(1) 計時機能

從中央之電腦控制時，係將最小保證綠燈時間加以計時，其他全STEP則依中央指令來做，由其方式，中央未對黃、全紅，或行人綠燈點滅等之時間發出指令時，可做這些 step 時間的計時。在第一次、第二次，及第三次 Fill save 運轉時，以全 step 或時相時間加以計時。

(2) 指令信號

從中央控制裝置發出之指令，有 step 指令、統計指令(表示特殊之時相時)，及第一次 Fill Save 運轉時之同期信號。step

指令，係使用脈衝寬 $200 \pm 20\text{ms}$ 之 Offpulse，用直流或 AM 或 FS 搬送方式，從中央傳送之。

統計指令有直列 bit 方式，或周波數分配方式等。

第一次 Feed Save 之同時信號，係利用既設自動感應系統式號誌器主控制裝置之指令，相當於周期長 1% 之 On Pulse 作為 Offset 之同期。

(3) 確認信號

以直列 bit 方式或周波數分配方式，將終端號誌控制器之顯示、統計，及動作狀態送至中央控制裝置。

顯示確認用的車輛綠燈時間有 2~4 種，車輛黃燈時間有 2~4 種，行人綠燈時間有 0~2 種。統計確認信號依統計之種類使用 3~5 種。動作狀態之監視有手動或閃光一種，電腦控制一種、Fill save 運轉一種、保全用定周期運轉一種及異樣一種等。

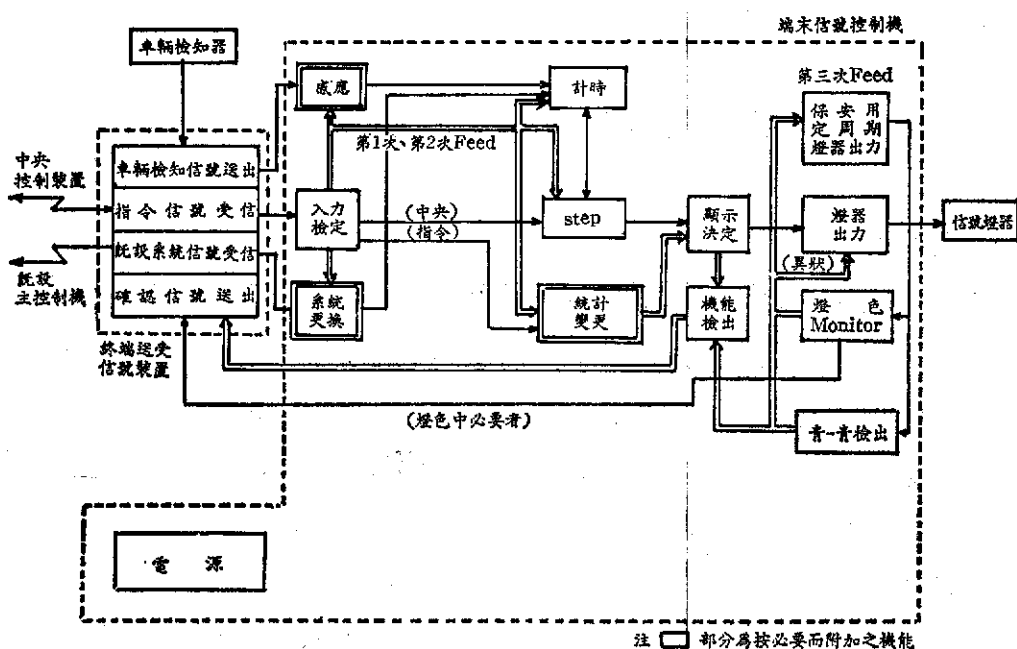


圖46 終端號誌控制器方塊圖

(4)錯誤指令信號之知檢機能

將 step 指令信號，統計指令信號之檢定與顯示時間及異狀點燈加以檢出。step 步進指令信號之脈衝寬及脈衝間隔加以檢定，Pulse 寬在 180ms 以下時可略而不管 220ms 以上時，則可轉換成第二次 Feed Save 運轉，若第一顯示為綠燈時是正常，則依中央控制裝置之指令，恢復正常動作。

統計指令在第一顯示之綠燈時間內即送出，作 Pulse Check 或 Parity Check，若有異樣即要求再送。

經常監視燈器輸出，在交錯之交通流通上同時亮綠燈時，或顯示時間太短或太長時，即可轉換為第三次 Feed Save 之保安用固定周期運轉，沒有保安用固定周期裝置者，即使其熄燈，保安用固定周期運轉時，在交錯之交通流動上同時點綠燈時，即予熄燈。

(5)顯示構成 step 數

除了第三次 Fill Save 用之裝置外，有 14 或 24 step 分為單純之十字路口與處理複雜多時相十字路口。

(6)燈器輸出

燈器開關用之輸出迴路數，最大可裝至 28 迴路，輸出迴路容量，係使用 AC100V, 4A 或 8A，或使用可開關 400 萬次以上的電磁 Relay 或 Thyristor。

(7)感應控制機能

第二次 Fill Save 運轉，若有檢出感應時，可作為地點感應號誌來用。

(8)其他

在電源電壓 AC80~100V，周圍溫度從 -20°C 或 -30°C ~ $+60^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度 40~90% 之條件下作用，能符合警察局之規格條

件。

5.7 傳送機器

1. 在交通控制系統之傳送情報量

在交通控制系統中，情報之流通如圖47所示。關於電話及 CCTV，與其他領域所用之方式均大略相同。

從終端測定裝置所得之測定情報中，以從車輛檢知器所得之時間佔有率情報量為最多，每一車道大約需要 25B/S。交通量情報，每一車道大約為 2 B/S。道路、氣象情報、或有效車道檢知情報之原始情報，也有為連續量者，在交通控制上，為了將其變換為控制所必需之水準或模式，而加上傳送，通常情報量極少。

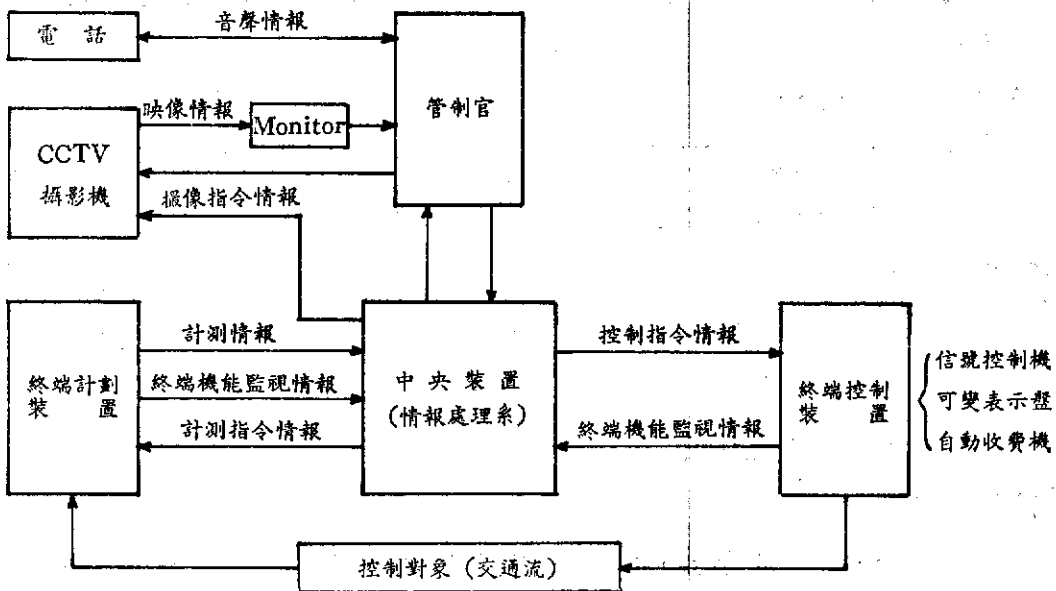


圖47 交通管制系統情報之流通

控制指令情報，對交通號誌控制器之提供情報量，每一台約為 1 B/S。依其方式，也有一下子提供 5 B/S 的。像電光表示板那樣，其

顯示內容多為潛在性的，從其中，隨意指定內容時，指令的情報量也變多了，一般所用之表示程式為 5~20，因為應答速度不須高速，在 2~50B/S，依其方式分別使用。終端機能監視情報，係為確認接受到控制指令之終端控制裝置動作的情報，信賴度要求愈高之裝置，則情報量愈多。交通號誌控制器，是情報量較多的例子。平均每一台為 10~20B/S，測定指定情報方面，CCTV 攝影機之攝影指令，係依交通流動之狀態，而自動實施之方式，或在需要道路、氣象情報時之測定指令等，均為情報量較少者。

2. 傳送方式

交通控制系統之傳送路分為使用自營線與使用電信局線兩種，首都高速道路及阪神高速道路之交通管制，係用自營線，在都市道路之交通管制，係用電信局信線。

在迴路線之構成，有從中央裝置至每一終端裝置接續一迴線之方法，在中央裝置與終端裝置間裝有集線機能的中繼裝置之方法，或在一對之迴線上，由將複數終端分歧的中央裝置來做並列受信之方式等。在使用電信局線時，必須能符合由公眾電氣通信系統提供之專用線之借用基準，及專用設備終端檢器之技術水準。且必須參考 CCITT 之勸告，電氣學會之信號送受信裝置規格基準等之諸規格。

通信路分割之方式有利用 300~3,000 Hz 之音聲周波數帶域之周波數分割方式 (FDM) 與時分割方式 (TDM)。但不管何種方式均有其優劣點，在都市道路之交通管制上均分別加以使用，周波數分割方式之迴路簡單，情報量多時，則以時分割方式較優。

變調方式，通常採用振幅變調 (AM) 方式，與周波數變調 (周波數偏移 FS) 方式，在情報量多時，或使用傳送距離長之市外迴線時，採用 FS 方式。變調速度 (傳送速度)，一般為 50 貝、200 貝或 1,200 貝，除自營線外，尚未使用。有人建議以後使用 100 貝或 600 貝

。採用周波數分割方式時之周波數間隔，在 CCITT 規格為 120Hz (A 系列)，ATT 規格為 170Hz (B 系列)，在交通控制關係，一般為 170Hz。

3.規 格

表17所示，為AM50貝及FS50貝之送受信裝置之規格概要。

表18，係由 FS50 貝周波數分割方式，所作輸送周波數分配之一例子。在變調速度50貝以外之提案例，時分割方式採用 FS 100 貝 (Bar) 與600貝。此一方式，輸送周波數在100貝時，為 600 ± 100 Hz，600貝時，為 $1,700 \pm 200$ Hz。

表17 用於交通控制之傳送方式規格例

項 目 \ 變調方式	振 幅 變 調 (AM)	周 波 數 變 調 (周 波 數 偏 移 FS)
變 調 速 度	50 貝	50 貝
送 信 水 平	-4~0dBm/總合	-4~0dBm/總合
受 信 水 平	-32dBm/總合	-32dBm/總合
	-36~46dBm/CH 可變	-36~46dBm/CH 可變
水 平 變 動	± 5 dB	± 5 dB
符 號 變 形	$\pm 15\%$ 以下	$\pm 15\%$ 以下
入 出 力 阻 抗	$600\Omega \pm 20\%$	$600\Omega \pm 20\%$
線 路 周 波 數 帶 域	300~3,400Hz	300~3,400Hz
線 路 搬 送 周 波 數	425~3,315Hz	$85(2n+3) \pm 35$ Hz
中 心 周 波 數 間 隔	170Hz	170Hz
周 圍 溫 度	-10~+60°C 或 -30~+60°C	-10~+60°C 或 -30~+60°C
相 對 溫 度	40~90%	40~90%
電 源 電 壓	AC80~110V, 50/60Hz	AC80~110V, 50/60Hz

表18 由FS 50 貝周波數分割方式之周波數分配例

波 段 編 號	中心周波數 (Hz)	情 報	傳 送 方 向
1	425	顯示步進，統計指令	中央側→→端末側
2	595	確 認 信 號	中央側←←端末側
3	765	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
4	935	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
5	1,105	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
6	1,275	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
7	1,445	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
8	1,615	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
9	1,785	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
10	1,955	車 輛 檢 知 信 號	中央側←←端末側
11	2,125	同 期 信 號	中央側←←端末側

5.8 人機介面 (Man Machine Inteiface)

在交通管制系統中之人機介面，大略可分為有關於交通管制中心內之管制官、與管制機器、與有關於車輛駕駛人及行人與管制系統。

1.在交通管制系統之人、機介面

在下列狀況，管制官即介入交通管制：

(1)通報處理

從外部以無線或有線電話，所作交通狀況之連絡，交通情報之自動收集所得之情報，若有異質時，則根據需要，可以加減其精度與數量，依照情報之結果，管制官介入控制中，幾乎均得自通信桌的電話，當然也有以文書連絡者。

(2)顯示處理

在表示管制地區之地圖盤上，顯示交通流動要件及道路情況，用以監視其控制狀態，顯示之內容，也可用於從中心向外部之資訊傳達。地圖盤以外，用 CRT Display，可將內容詳細做高速之監視。監視之結果，管制官即介入控制中。

(3)CCTV Monitor 系統之操作

依需要對交通情況加以考察，管制官介入管制。也有用於交通流動檢知裝置之機械式測定值，與人類直覺之調整。

(4)對控制之介入

在控制不適當時，緊急時控制、管制裝置之切離、與再結合，特種程式之起動等，有很多情形是依管制官之判斷，將控制內容加以變更者。此時之介入，由通信桌、打字機等來做，但裝置必須考慮操作方便且把錯誤減至最少。

(5)資訊與記錄處理

直接或由有關機關介入所作之資訊活動，係根據 CRT Display，及管制桌上表示之內容，打字機、線上印表機、所記錄之內容等，加以實施之。關於過去之資料，係記錄於磁帶中，必須能立刻配合各種照會。

(6)離線 (Off Line) 處理

在管制系統之改善、變更時，須作交通流量統計資料之解析，以及作模擬，統計資料必須彙總為月報、年報，希望不但作表，也有作圖機能。

(7)系統之保全

以硬體 Monitor 監視機器之動作狀態，發現機器體系之異樣，而尋求其對策。因計算裝置之停止，引起情報處理機能、控制機能之停止，對於管制官之判斷，極為重要。關於系統之保全

，對於管制組織與人員之體制，也是很重要的。

2. 交通管制系統與駕駛人及行人間之人、機介面

駕駛人及行人，在車內、路上、家裏、工作場所等接收到從交通管制體制所提供之情報，情報之內容，有引導、建議、指示、警告、強制、探索等種類，使用自己所適合之裝置，為了能確實傳達，須考慮人體工學方面，很多狀況，係經視、聽覺將情報傳送的。用觸覺之傳達，有 Chatter Bar，其他之適用例極少。在道路上之傳達情報時，以交通號誌或電光表示板等通過視覺的情形，對誘目性或視目性，仍須充分檢討。

介面之具體使用手段，有收音機、電光表示板、字幕式表示板、電話、擴音機、號誌控制器、可變標誌、遮斷機、警光燈、標記（Marking）、Car Locator 等。尚在研究者，有 Hollow Sign（空心誌）、誘導無線、Guidance（指揮）裝置等。

日本都市街道交通管制系統

— 交通號誌 —

交通部運輸研究所 編印

地 址：臺北市中山區 10484

敦化北路240號

電 話：7123121 — 5