

**레이더센서를 이용한
신호제어용 실시간 검지체계 개발**

**레이더센서를 이용한
신호제어용 실시간 검지체계 개발**

치안정책연구소 교통대책연구실

책임연구관 김 남 선

목 차

| | |
|---|----|
| 제1장 서 론 | 1 |
| 제1절 배경 및 목적 | 1 |
| 제2절 연구내용 및 절차 | 2 |
| 1. 연구의 내용 및 범위 | 2 |
| 2. 연구의 방법 및 절차 | 3 |
| 제3절 기대효과 | 5 |
| 제2장 이론적 배경 및 차량검지기 | 6 |
| 제1절 이론적 배경 | 6 |
| 1. 레이더 이론 | 6 |
| 2. 차량검지기 이론 | 12 |
| 제2절 선행연구고찰 | 24 |
| 제3장 신호제어 검지체계 현황 | 33 |
| 제1절 감응식 신호제어 방식 | 33 |
| 1. 완전감응 신호제어(Full-Actuated Control) | 33 |
| 2. 반감응 신호제어(Semi-Actuated Control) | 34 |
| 3. 교통량-밀도제어(Volume-Density Control) | 36 |
| 4. COSMOS 좌회전 감응제어 | 37 |
| 제2절 현시 및 검지기체계 | 39 |
| 1. 현시체계 | 39 |
| 2. 검지기체계 | 44 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 제4장 레이더센서를 이용한 실시간 검지체계 개발 | 49 |
| 제1절 개요 | 49 |
| 제2절 레이더검지기의 실시간 신호제어체계 | 51 |
| 1. 교통상황별 제어전략 | 51 |
| 2. 신호주기 산정 알고리즘 | 55 |
| 3. 녹색시간 산정 알고리즘 | 56 |
| 제3절 레이더검지기 실시간 검지체계 구상 | 60 |
| 1. 검지체계 개요 | 60 |
| 2. 기능별 검지체계 구상 | 61 |
| 제4절 레이더검지기 적용 관련 기술 | 65 |
| 1. 레이더 기술 | 65 |
| 2. 위상배열 안테나 기술 | 66 |
| 3. MTI(Moving Target Indicator) 기술 | 68 |
| 4. FMCW Radar 기술 | 71 |
| 5. 빔포밍 테크닉(Beamforming Techniques) | 73 |
| 제5절 시뮬레이션 검증 | 77 |
| 1. 시뮬레이션 개요 | 77 |
| 2. 차량의 진행방향 추정 | 78 |
| 3. 검지기와 차량 간 거리 및 속도 추정 | 82 |
| 제6절 보완성 검토 | 87 |
| 1. 타 장비의 간섭 신호 검토 | 87 |
| 2. 재밍 신호 검토 | 87 |
| 제5장 결론 및 정책제언 | 88 |
| 참고문헌 | 90 |

| | |
|-----------------|----|
| I . 국내문헌 | 90 |
| II . 외국문헌 | 92 |
| III . 기타 | 94 |

표 목차

| | |
|----------------------------------|----|
| <표 1> 루프검지기의 수집 정보 종류 및 특성 | 13 |
| <표 2> 자기검지기의 수집정보 종류 및 특성 | 16 |
| <표 3> 영상검지방식의 분류 | 18 |
| <표 4> 초단파 검지기의 수집정보 및 특성 | 20 |
| <표 5> 초음파 검지기의 수집정보 및 특성 | 21 |
| <표 6> 현시 진행 순서 | 42 |
| <표 7> 검지모드의 분류 | 46 |
| <표 8> 검지기 위치와 관련된 시간 값 | 47 |
| <표 9> 교차로 교통상황 분류에 따른 제어단계 | 52 |
| <표 10> 교차로 교통상황의 정의 | 52 |
| <표 11> 교차로 교통상황별 제어목표 | 53 |
| <표 12> 교차로 교통상황의 정의 | 53 |
| <표 13> 교차로 교통상황별 제어목표 | 54 |
| <표 14> 제어단계별 신호변수 설정기준 | 54 |

그림 목차

| | |
|--------------------------------------|----|
| <그림 1> 레이더센서를 이용한 차량검지시스템 개념도 | 3 |
| <그림 2> 연구절차 | 4 |
| <그림 3> 펄스 레이더의 일반적인 구조 | 8 |
| <그림 4> 펄스 레이더의 신호 파형 | 9 |
| <그림 5> 연속파 레이더의 일반적인 구조 | 9 |
| <그림 6> FMCW 레이더의 신호파형 | 10 |
| <그림 7> FSK 레이더의 신호 파형 | 11 |
| <그림 8> 검지기 구성도 | 12 |
| <그림 9> 자기장 감지 센서 | 14 |
| <그림 10> 철(Fe)에 의한 자기장 변화 | 14 |
| <그림 11> 차량에 미치는 지구자장의 변화 | 15 |
| <그림 12> 복수개의 루프 검지기를 이용한 교통신호 제어시스템 | 31 |
| <그림 13> 완전감응 신호제어 알고리즘 | 34 |
| <그림 14> 반감응 신호제어 알고리즘 | 35 |
| <그림 15> 교통량-밀도 신호제어 알고리즘 | 36 |
| <그림 16> COSMOS 좌회전 감응제어 개념도 | 39 |
| <그림 17> 8현시 순서번호 | 40 |
| <그림 18> Single Ring | 40 |
| <그림 19> Dual Ring | 41 |
| <그림 20> 감응신호제어 운영 | 43 |
| <그림 21> 완전감응제어 검지기 구성 | 48 |
| <그림 22> 레이더센서를 이용한 차량검지시스템 개념도 | 49 |
| <그림 23> 레이더센서의 신호처리 블록도 | 50 |
| <그림 24> 교차로 검지기의 구성 | 61 |
| <그림 25> UTCS 신호계획 선정 절차 | 61 |
| <그림 26> 정지선 검지기 개념도 | 62 |

| | |
|---|----|
| <그림 27> 대기행렬 검지기 개념도 | 63 |
| <그림 28> 레이더검지기 설치규격(정지선/스필백) | 64 |
| <그림 29> 레이더의 원리 | 65 |
| <그림 30> 펄스가 1번 자동차에 도착 | 66 |
| <그림 31> 펄스가 $2/\tau$ 만큼 이동 | 66 |
| <그림 32> 1번, 2번 자동차의 에코펄스가 분리되어 전달 | 66 |
| <그림 33> 위상배열 안테나의 빔 조향 구성도 | 67 |
| <그림 34> MTI 적용사례(적용전후의 결과) | 68 |
| <그림 35> 움직이는 표적과 클러터의 위상차이 | 69 |
| <그림 36> 2개의 펄스를 이용한 MTI 시스템 | 69 |
| <그림 37> 2개의 펄스를 이용한 MTI 필터 | 70 |
| <그림 38> 3개의 펄스를 이용한 MTI 필터 | 70 |
| <그림 39> MTI 필터 통과하여 클러터가 제거되는 과정 | 71 |
| <그림 40> Application of FMCW Radar | 71 |
| <그림 41> FMCW 송·수신 신호 | 72 |
| <그림 42> FMCW 신호처리 블록도 | 73 |
| <그림 43> 위상배열 안테나의 수신신호 블록도 | 74 |
| <그림 44> Conventional 2power uncorrelated signal | 75 |
| <그림 45> Capon's 2power uncorrelated signal | 76 |
| <그림 46> 검지기 설치위치 및 차량검지 기하구조 | 78 |
| <그림 47> 차량의 진행방향 추정 개념도 | 79 |
| <그림 48> capon's method를 이용한 차량방향 추정결과 | 80 |
| <그림 49> 안테나 개수별 차량신호 분해능 결과 | 81 |
| <그림 50> 거리 및 속도추정 개념도 | 82 |
| <그림 51> Transmitted signal(FMCW) | 84 |
| <그림 52> Received signal(FMCW) | 84 |
| <그림 53> 추정된 차량거리와 속도 | 85 |

제1장 서론

제1절 배경 및 목적

차량등록대수 증가, 운전면허소지자 증가, 핵가족화 등으로 인하여 교통량은 증가하고 있는 반면 도로율은 답보상태에 머무르면서 점차로 심각해지는 교통 문제를 해결하기 위해서 교통 관리에 대한 필요성이 증가하고 있고, 현재 국가기관 및 각 지자체가 중심이 되어 이러한 필요성에 부응하여 교통문제 해결을 위해 많은 노력을 하고 있다.

일반적으로 효과적인 교통 관리를 위해서는 정보수집, 정보가공, 정보제공의 순으로 그 과정이 이루어지며, 이 중 정보수집의 경우 넓은 지역에 다양한 패턴으로 형성되는 교통상황을 실시간으로 설명할 수 있는 교통 정보 수집 장치를 필요로 한다. 또한 검지자료는 주로 교통신호제어와 교통정보제공에 이용되며 교통환경 및 제어특성에 따라 지점검지(Spot Detection)와 구간검지(Area Detection) 자료를 구분하여 사용한다. 그동안 우리나라에서는 교차로 통과교통량에 의한 신호제어를 주로 시행하였으나 앞으로는 교통수요감응형 신호제어기법의 시도가 필요하며 이를 위해서는 구간검지기에 의한 대기행렬길이 수집이 가능한 검지기가 필요하다. 최근 까지 영상검지기를 이용하는 방안이 여러 차례 시도된 바 있으나 그림자, 일출/일몰, 가로수 등에 의한 시야방해 등 설치주위의 환경변화에 대한 적응성이 취약하여 실질적인 적용사례는 미미한 실정이다.

현재 개발되어 현장에 적용하고 있는 교통정보 수집 장치의 경우 가장 보편적으로 선택되는 것으로 지점검지기인 루프검지기를 들 수 있는데

이는 상대적으로 낮은 설치비용과 높은 장치안정성과 더불어 정확하고 신뢰성 높은 정보의 수집이 가능하기 때문이다. 그 밖에 국내외적으로 영상 검지기, 적외선 검지기, 초음파 검지기, 자기 검지기 등이 환경과 이용목적에 따라 설치되어 운용되고 있다. 하지만 루프 검지기의 경우 시공 및 유지보수 과정에서 교통흐름에 미치는 영향이 크고, 공사인원의 안전에 있어서도 다소 위험성이 있기 때문에 대체검지기의 필요성이 항상 대두되었지만, 현재까지는 루프검지기의 가격경쟁력과 정보신뢰성을 대체할만한 검지기의 개발이 미진한 상태이다.

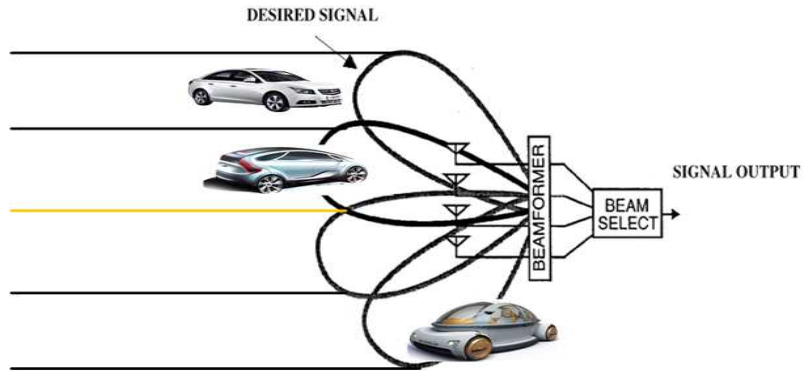
따라서 본 연구는 실시간 교통정보 수집이 가능한 교통검지기로써, 교통수요감응형 신호제어에 적합한 레이더센서방식의 차량검지장치를 발굴하여 신호교차로 대기행렬 검지체계 구성의 적용가능성을 도출하는 것을 목적으로 한다. 따라서 기존 검지기와의 가격경쟁력, 환경적응성, 정보신뢰성, 안정성 등 교통정보수집의 기본요구사항에도 부합하여야 한다.

제2절 연구내용 및 절차

1. 연구의 내용 및 범위

연구의 내용은 교통수요를 반영한 실시간 신호제어를 위하여 대기행렬 기반의 신기술 대체검지기를 개발하는 것이다. 설치위치는 신호등 지주의 신호등 램프에 설치하며 검지범위는 정지선에서 접근로 전체를 대상 범위로 하여 가공화된 유선통신이나 근거리 무선통신에 의해 제어기와 연결하고자 한다.

<그림 1> 레이더센서를 이용한 차량검지시스템 개념도



연구의 범위는 공간적으로는 독립적인 신호교차로이고 내용적으로는 교차로 내부의 신호제어를 위한 방향별 실시간 검지체계이다.

- ▶ 공간적 범위 : 독립 신호교차로¹⁾
- ▶ 내용적 범위 : 교차로 검지체계

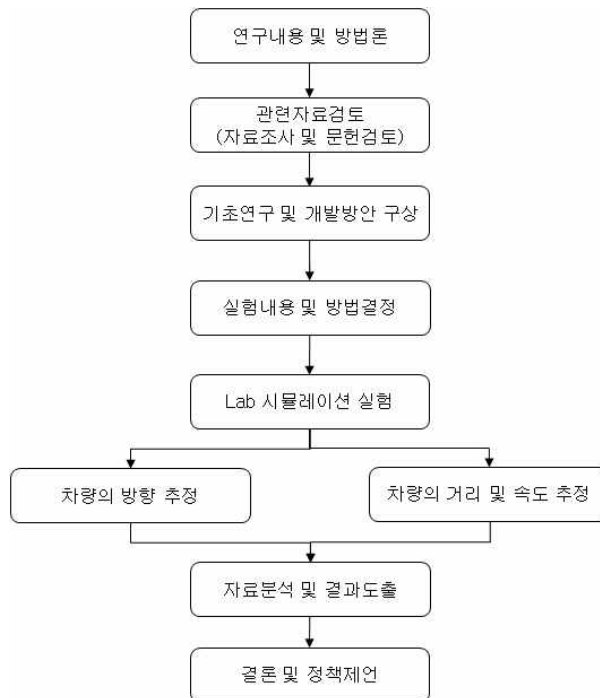
2. 연구의 방법 및 절차

연구의 방법은 먼저 접근로를 선정하여 검지대상차로를 선정하기 위해 위상배열 안테나를 이용해 차량의 방향 추정한다. 둘째, 대기행렬길이를 검지하기 위해 설치된 레이더센터를 기준으로 빔이 조향한 방향의 차량들의 위치(거리)와 차량의 속도를 검출한다. 셋째, 차량을 제외한 다른 신호들(ground, 지형물 등)의 노이즈 신호를 제거하여 순수한 차량정보만을 수집할 수 있는 환경을 조성한다. 넷째, 접근로의 필요한 검지구간을 설정하여 전체적인 차량의 흐름을 분석한다.

1) 중요교차로(CI:Critical Intersection), 준중요교차로(Sub Critical Intersection), 비중요교차로(Minor Intersection) 포함된 범위.

연구의 절차는 먼저 연구의 내용과 범위를 합리적으로 설정하고 이를 시행할 방법론을 도출한다. 둘째, 관련 자료를 수집하여 검지체계의 적용현황을 파악하고 기존의 문헌과 논문 등 선행연구자료를 조사하여 연구의 동향을 분석한다. 셋째, 연구내용에 관한 기초연구 및 개발방안을 구상하여 전체적인 틀을 구성한다. 레이더센서를 이용한 차량검지기의 가중성을 실험하기 위한 실험계획을 수립한다. 넷째, 실험계획에 의한 Lab실험을 실시하고 자료를 분석하여 결과를 제시한다. 다섯째, 실험결과에 대한 다각적인 분석에 의해 독립교차로의 실시간 신호제어에 사용 가능여부에 대한 결론과 교통정책반영에 대한 제언을 정리한다.

<그림 2> 연구절차



제3절 기대효과

가. 접근로 전체의 공간정보수집 가능

위상 배열 안테나의 빔 조향방향을 달리하여 먼 거리의 교통흐름의 파악이 가능하다. 그리고 기존 COSMOS 방식인 도로의 정지선, 대기행렬(100m, 200m, 400m, 800m), 앞막힘 검지기(-60m)의 지점정보가 아닌 접근로 전체구간의 공간정보의 획득이 가능하다. 또한 도로 각 차선의 정확한 교통상황 정보 획득으로 차로별 차별화된 교통정보의 서비스를 제공할 수 있다.

나. 경제성 및 차량통제 문제 해결

레이더 센서의 위상 배열 안테나를 이용하여 도로의 구간마다 설치되어 있는 대기행렬 검지기, 앞막힘 검지기 좌회전, 직진 검지기를 대체함으로써 지하에 설치되어 있는 지중화 케이블을 통한 정보전달이 아닌 단거리에서 유/무선에 의해 신호제어기에 전달함으로써 차량검지기 설치 및 유지보수 시 차량통제 문제가 해결되며 검지기와 제어기간 정보전달의 무선화가 가능하다.

다. 설치 및 유지보수성 향상

기존 루프검지기 설치방법인 인도 및 도로 밑에 케이블라인으로 소통하는 유선통신방식에서 무선통신 또는 짧은 거리의 가공유선통신을 이용함으로써 전력손실이나 여러 가지 문제발생 시 간단하게 대처가 가능하다.

제2장 이론적 배경 및 차량검지기

제1절 이론적 배경

1. 레이더 이론²⁾

가. 전파의 전파특성

전파를 이용하는 무선기기에 있어서 사용 주파수 대역과 사용 장소에 따른 전파 특성을 미리 파악하는 것은 매우 중요하다. 레이더는 공기와 수증기에 대한 전파 손실과 강우에 의한 감쇠보다는 자유공간의 전파 손실이 우세하다고 볼 수 있다. 자유공간에서의 주파수에 대한 전파 손실은 아래식과 같다.

$$\text{Path Loss} = 32.5 + 20\log(f\text{MHz}) + 20\log(d\text{km})$$

위 식을 이용하면 100m 거리(왕복 200m)에서 60.5GHz와 76.5GHz의 주파수를 사용하는 전파의 경로 손실은 각각 114.2dB와 116.2dB로 계산된다. 이는 높은 주파수를 사용하는 것으로 인하여 기본적으로 상당히 큰 손실을 감수해야 함을 의미한다. 위의 감쇠량은 76.5GHz에서 10W(EIRP)로 전파를 발사하는 경우로 가정한다면 동일한 거리에서 다른 주파수를 이용하였을 때 아래의 전력을 이용하는 것과 같다.

- 비가 오지 않는 경우

2) 배창호, 조평동, 차량 레이더 기술 동향과 기술기준 제정 방향에 대한 연구, 정보통신산업진흥원, 2005

- 10mW(10dBm) at 2.4GHz
- 1.4mW(1.46dBm) at 900MHz
- 비가 오는 경우(강우량 = 50mm/h)
 - 4.9mW(6.9dBm) at 2.4GHz
 - 0.69mW(-1.6dBm) at 900MHz

레이더의 발사 전파는 전파 시 손실에 의해 상당한 감쇠를 겪게 되므로 원활한 전파의 송수신을 위해서는 비교적 높은 발사 전력이 요구된다. 하지만 타 통신에 대한 전파 간섭의 측면에서 앞에서 언급된 높은 감쇠 특성은 전파 간섭의 영향을 줄일 수 있는 요소로 작용하게 된다.

나. 레이더의 종류

레이더(RADAR)란 Radio Detection And Ranging의 약자이며 주요 기능은 물체의 위치와 방향의 탐지 및 거리와 속도의 측정을 들 수 있다. 주요 기능 중 피탐지체의 거리 및 속도의 측정은 각각 전파의 전파 속도와 전파 소요시간 및 도플러 효과에 의한 주파수 편이의 측정에 바탕을 둔다. 이러한 원리를 이용한 레이더의 거리 및 속도측정은 아래 식에 근거한다.

$$\text{피탐지체의 거리: } R = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

$$\text{속도: } v = \frac{\lambda \cdot f_d}{\cos \theta}$$

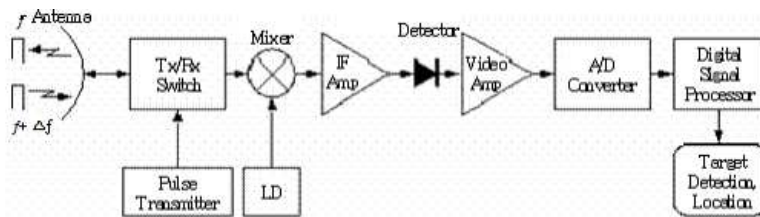
여기서, c 는 자유공간에서 전파의 전파 속도, f_d 는 도플러 주파수 편이, θ 는 레이더와 피측정체 사이의 각도로 레이더의 측정방향과 피측정체의 이동방향이 이루는 각도이다.

그리고 레이더는 그 전파 발사의 원리상 크게 펄스 레이더와 연속파 레이더로 구분된다.

1) 펄스 레이더

펄스 레이더는 레이더의 송수신에 펄스 신호를 이용하는 방식으로 기본적인 레이더의 구성과 신호 파형은 아래 그림에 나타나 있다. 펄스 레이더는 송수신을 동일한 시간대에 행하지 않는 특징으로 하나의 안테나만을 사용하며 내부의 듀플렉서를 이용하여 송·수신 신호를 시간에 대하여 분리해낸다.

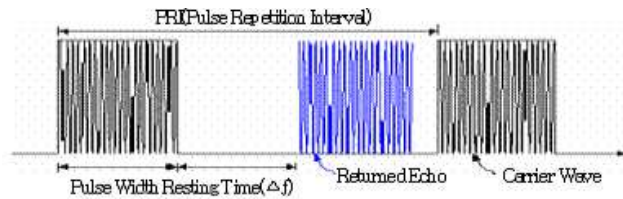
<그림 3> 펄스 레이더의 일반적인 구조



펄스 레이더의 주요 파라미터는 다음과 같다.

- Pulse Width
- PRI(Pulse Repetition Interval) = $1/PRF$ (Pulse Repetition Frequency)
- Duty Cycle(Pulse Width/Period of Pulse)
- Peak Power
- Carrier Wave Frequency

<그림 4> 펄스 레이더의 신호 파형

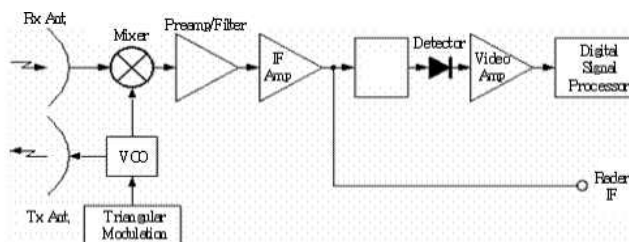


위에서 언급된 각각의 파라미터들은 레이더의 최대·최소 측정 가능거리와 피측정체의 종류에 따라 다양한 값들로 선택된다. 측정가능 거리는 신호 전력의 세기 및 적절한 PRI의 선택으로 인한 전파 지연 허용시간의 확보 등에 의해 결정되며 캐리어 주파수도 영향을 미치는 요소로 작용한다. 레이더의 용도가 결정되고 피측정체의 범주가 일정 범위 내로 국한되면 위에서 언급한 파라미터들이 정의된다고 볼 수 있다.

2) 연속파 레이더

연속파 레이더(Continuous Wave Radar)는 펄스 레이더와는 달리 송신 신호를 시간에 대해 휴지시간 없이 지속적으로 발사하는 레이더로 그 원리상 송수신 안테나가 분리되어 있다. 기본적인 레이더의 구성은 아래 그림과 같다.

<그림 5> 연속파 레이더의 일반적인 구조



연속파 레이더 가운데 차량 레이더로 사용되는 대표적인 방식은 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave) 방식과 FSK(Frequency Shift Keying) 방식이 있다. 각각의 신호 파형과 이를 이용한 레이더

측정의 원리를 살펴보겠다.

가) FMCW 레이더

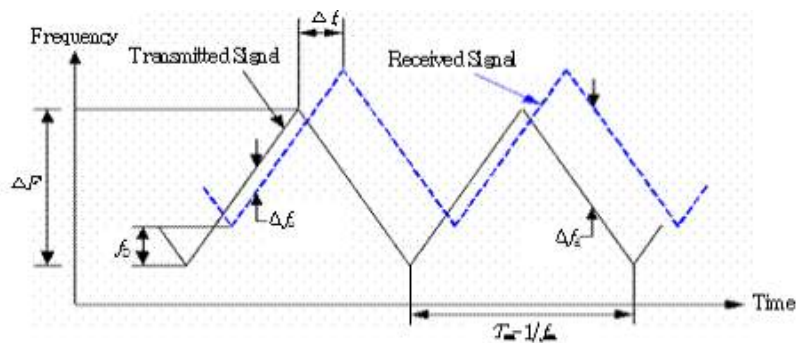
FMCW 레이더는 주파수 변조된 신호를 연속적으로 발사하는 방식의 레이더를 말한다. 대표적인 신호 파형은 아래 그림과 같다. 그림에서 실선은 레이더의 송신신호를 의미하고 점선은 송신신호가 피측정체에 반사되어 돌아온 수신신호를 의미한다. 아래 그림의 여러 가지 파라미터들 중 피측정체 사이의 거리와 피측정체의 속도측정은 지연시간 Δt 와 수신 주파수 편이 δf_u 와 δf_d 를 이용하여 구할 수 있다. 먼저 피측정체와의 거리는 지연시간을 아래 식에 적용하여 구할 수 있다.

$$\text{지연시간: } R = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

피측정체의 속도는 두 개의 수신 주파수 편이와 도플러 주파수 편이 사이의 관계를 이용하여 구할 수 있으며 관계식은 아래와 같다.

$$\text{피측정체의 속도: } f_D = \frac{(\delta f_n + \delta f_d)}{2}$$

<그림 6> FMCW 레이더의 신호파형



피측정체의 속도를 이용하여 얻은 도플러 주파수 편이는 지연시간 식에 대입하여 피측정체의 상대적인 속도를 구하는데 이용된다. 그리고 Δ

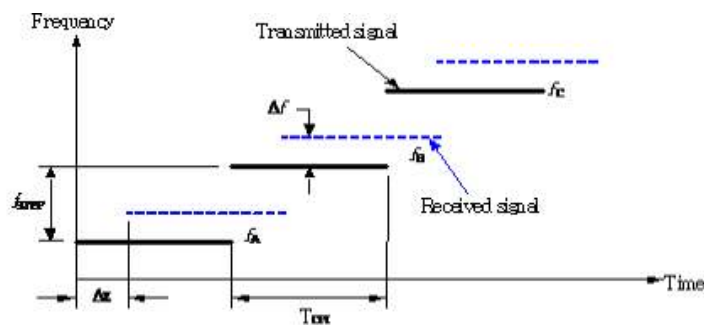
F와 T_m 은 각각 레이더가 이용할 최대 주파수 편이와 주파수 간격을 의미하며 이것들도 펄스 레이더의 경우와 같이 용도에 따라 다양한 값으로 정하여 사용된다.

나) FSK 레이더

신호 파형의 성형을 위해 FMCW 레이더가 FM chirp 신호를 이용하는 것과 달리 FSK 레이더는 디지털 변조에 이용되는 FSK(Frequency Shift Keying)를 이용한다. 신호 파형은 아래 그림과 같다. 아래 그림에 나타난 파라미터들은 FMCW 레이더의 파라미터들과 유사하며 이를 이용한 거리 및 속도의 측정도 매우 유사하다. FSK 레이더는 속도를 측정하기 위해 수신신호의 위상차를 이용하기도 하고 이러한 것은 f_{STEP} 이 비교적 작은 경우로 두 신호의 위상차를 $\Delta\phi$ 라 하면 거리는 아래 식과 같이 주어진다.

$$\text{거리: } R = -\frac{c \cdot \Delta\Phi}{4\pi \cdot f_{STEP}}$$

<그림 7> FSK 레이더의 신호 파형

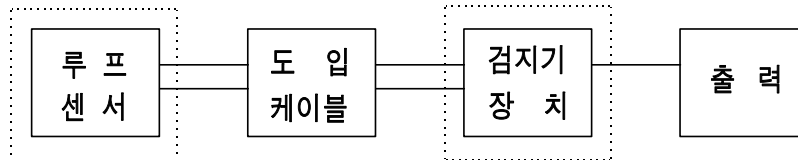


2. 차량검지기 이론

가. 루프검지기(Inductive Loop Detectors)

루프검지기는 검지장치에서 공급하는 10~200KHz의 주파수를 갖는 에너지에 의해 도로 위에 매설된 루프코일에 균일한 인덕턴스를 가진 교번자장(Alternative Magnetic Field)이 형성하여, 차량이 통과할 때 발생하는 인덕턴스의 변화를 검지하는 방식의 검지기이다. 루프검지기의 구성은 도로 위에 매설된 2~4회의 회전수를 가진 루프코일에 형성되는 검지영역과 노변의 검지장치, 그리고 이들을 연결하는 도입케이블로 구성되어 있다.

<그림 8> 검지기 구성도



루프검지기의 출력(output)은 검지영역에 차량이 존재하는 시간에 비례하는 점유시간이다. 이 점유시간을 이용하여 1차 가공되는 자료는 교통량, 속도, 점유시간 등이다. 이 중 교통량과 점유시간은 단루프를 이용하여 산출하고, 더 신뢰성 높은 속도를 측정하기 위해서는 쌍루프를 이용하여 두 점유시간의 차를 사용하는 것이 일반적이다.

또한 루프 형태는 검지목적에 따라 다양한 형태(원형, 8각, 32각 등)로 설치할 수 있으며, 수집하는 정보의 종류와 신뢰성 및 효율성 등 여러 가지 타당성에 근거하여 최적의 형태를 결정하여야 한다.

이러한 루프검지기의 출력값에 영향을 미치는 요소는 인덕턴스 값, 케

이블의 길이 등이 있다. NEMA(National Electrical Manufactures Association) 기준에 따르면 루프검지기가 정상적으로 동작하기 위해서는 검지부의 인덕턴스 값을 최소 50 μ H이상 유지하도록 규정하고 있다.

케이블의 경우는 외국에서는 케이블의 한계길이를 300피트 이내로 규정하고 있다. 이는 케이블이 길어짐에 따른 검지신호의 감쇠와 외부환경 변화 등에 의한 검지기의 오작동을 방지하여 신뢰성 있는 자료 수집을 가능하게 하기 위함이다.

다음은 루프검지기의 수집정보 종류 및 특성을 나타낸 것이다.

<표 1> 루프검지기의 수집 정보 종류 및 특성

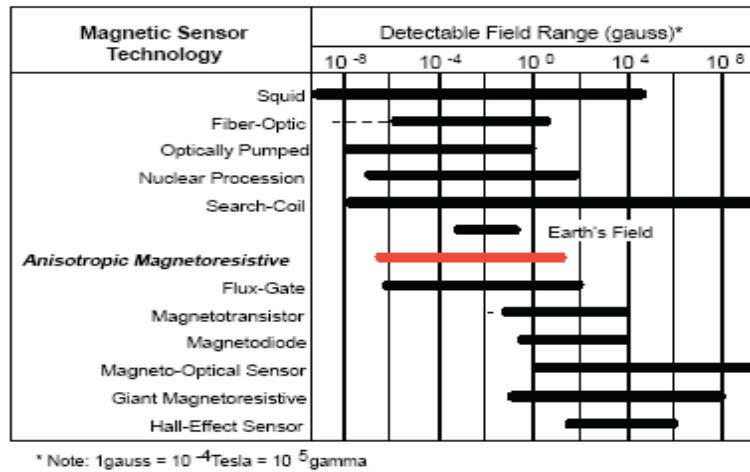
| 구 분 | 내 용 |
|-------|---|
| 수집 정보 | ◦ 교통량, 속도, 점유시간(점유율) |
| 장점 | ◦ 검지정보의 신뢰성 우수 ◦ 환경의 영향을 거의 받지 않음 ◦ 타 검지기에 비해 상대적으로 설치비 저렴 |
| 단점 | ◦ 차종의 구분이 어려움 ◦ 설치 공사 시 교통흐름 방해 ◦ 포장상태 변형에 따른 검지기의 성능저하 ◦ 도로파손에 따른 유지보수의 어려움 |

나. 자기검지기(Magnetic Detector)

일반적으로 자기검지기는 자기장 발생방식에 따라 능동형 자기검지기(Active Magnetic Detector)와 수동형 자기검지기(Passive Magnetic Detector)로 구분한다. 능동형 자기검지기는 고용량 Inductor 주위에 영구 자석을 배치해서 인공적인 자장을 형성하고 이 인공적인 자장의 변

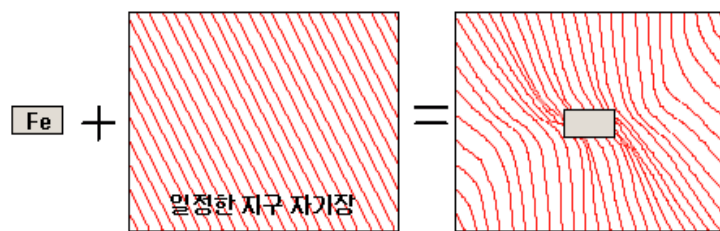
화를 감지하는 방식이다. 수동형 자기검지기는 자기 검지기 주위에 인공적으로 형성하는 자기장 없이, 자기검지기 주위에 존재하는 지구 자기장 및 기타 자기장의 변화를 감지하는 방식이다.

<그림 9> 자기장 감지 센서

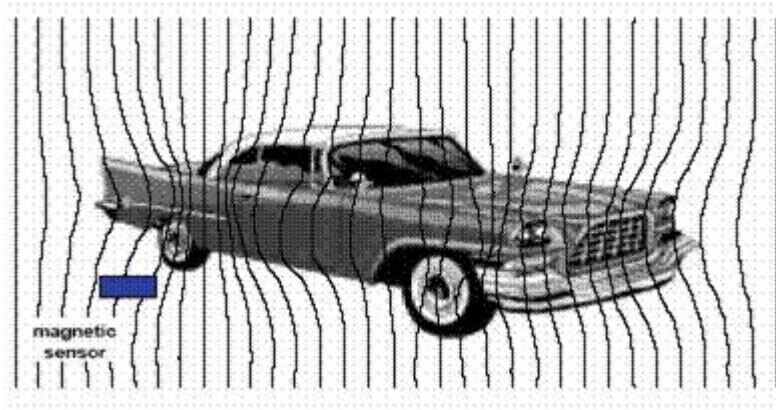


수동형 자기검지기는 일정한 지구 자기장에서 철(Fe)로 구성된 물체가 있을 경우에 자기장의 변화가 일어나는데, 이때 변화량을 감지하여 차량의 존재유무를 검지하는 방식의 검지기이다.

<그림 10> 철(Fe)에 의한 자기장 변화



<그림 11> 차량에 미치는 지구자장의 변화



자기검지기로부터 수집되는 자료는 루프검지기과 같은 교통량, 속도, 점유시간 등이다.

자기검지기는 일반적으로 능동식과 수동식으로 구분하며, 차량 통과 시점에서 센서 주위 자기장의 변화를 센서의 X, Y, Z축으로 자기장 신호를 감지해서 그 신호를 증폭하고 증폭된 신호를 MCU(Microcontroller Unit)에 입력해서 제어기와 연관된 프로토콜에 따라 신호를 디지털 방식으로 전송하며, 제어기에 내장된 연산보드(DSP)에 의해 신호 처리를 행하여 연산하여 차량의 존재, 교통량, 속도, 점유시간 등을 확인할 수 있다. 센싱원리는 센서주위의 자기장 변화를 전압으로 출력하여 지구 자기장과 같은 낮은 자기장의 변화에도 사용할 수 있다. 현존하는 센서 중에는 자기장의 변화가 약 200ns(nano second) 이내에 전압변화를 신호로 출력하여 사용하기도 한다. 일반적인 자기검지기의 수집 가능 정보와 특성은 다음과 같다.

<표 2> 자기검지기의 수집정보 종류 및 특성

| 구 분 | 내 용 |
|-------|--|
| 수집 정보 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 교통량, 점유시간, 속도 |
| 장점 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 설치시간이 루프검지기에 비해 짧음. ◦ 설치비용과 유지관리비용이 상대적으로 저렴 ◦ 교량 등의 철구조물로 인한 영향이나 도로포장에 따른 성능저하 위험이 적음 ◦ 센서 내에 MCU(Micro controller Unit)가 내장되어 향후 센서 기능 확장이 가능 (RWIS-Road Weather Information System 등) |
| 단점 | <ul style="list-style-type: none"> ◦ 검지영역 불분명 |

다. 영상검지기(Image Detectors)³⁾

영상 검지기는 영상 처리 기술(Image processing technology)을 이용하여 도로 상을 통행하는 차량들의 속도, 점유 시간, 차두 시간 등과 같은 교통 매개변수를 측정하는 검지기이다. 특히, 영상 검지기는 인간의 눈과 같은 기능을 하는 카메라를 정보 입력 수단으로 사용하기 때문에 기존의 루프 검지기뿐만 아니라 초음파나 초단파, 적외선 검지기의 성능보다 한 단계 앞선 시스템으로 차량의 검지 기능과 모니터링 기능을 동시에 수행할 수 있다. 현재 영상 검지기는 선진 각국에서 가장 연구가 활발한 첨단 시스템이며, 컴퓨터 기술의 발달에 따라 신호 처리 속도가 매우 빨라져 성능이 크게 향상되고 있다. 초기에 비디오카메라는 주로 도로 상의 상황을 화면을 통해 모니터링 하여 교통 상황을 파악하기 위한 목적으로 많이 사용되었으나 현재는 영상을 통해 자동적으로 대상 도

3) 은지혜, 영상검지기를 이용한 좌회전 감응식 신호제어전략 개발 및 평가, 아주대학교 대학원, 2010

로의 상황을 검지, 분석하여 교통 정보를 제공하기 위한 교통관제의 목적으로 많이 사용되고 있다. 여타 검지기는 일부 교통 매개변수를 가지고 교통관제에 필요한 정보를 추출하는 데 반하여 영상 검지기는 카메라 영상을 통해 입력되는 실시간 자료를 그대로 처리하므로 좀 더 다양하고 정확한 교통 정보를 얻을 수 있다.

영상검지기의 작동원리를 보면 영상검지기는 운동물체를 검지하기 위해 밝기(Color)값의 변화를 이용하며, 이는 각각 대응하는 화소(pixel)나 블록(Block)간의 밝기 차를 구하고 일정한 문턱값(Threshold)을 기준으로 밝기값 차이가 문턱값 이상이면 물체가 존재한다고 가정한다. 그러나 연속되는 영상에서 단순히 두 영상간의 밝기값만을 비교할 경우 밝기값의 분포가 비슷한 물체가 상대적으로 작은 운동을 하게 되어 영상간에 겹치는 부분이 발생하게 되면 밝기값의 차이가 거의 없기 때문에 이를 배경 영상으로 오인할 수도 있다.

이러한 문제점은 움직이는 물체를 제외시킨 배경 영상(기준 영상)을 도입함으로써 해결할 수 있으나 실제 도로에서는 태양의 위치 변화와 구름, 주야의 바뀔 등에 의해 발생할 수 있는 조명 조건의 변화로 배경 자체의 밝기값도 시간에 따라 바뀌게 되어 배경 영상을 획득하는 것도 어렵게 된다. 이와 같은 조명 조건의 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 기법으로 능동적 칼만 이득(Active kalman gain)을 이용한 칼만 필터링(Kalman filtering) 기법이 많이 사용되고 있으며, 칼만 필터링 기법을 도입하게 되면 조명 조건의 변화로 인한 문제점을 극복할 수 있으며 실제 배경 영상의 밝기값 변화에 신속히 적응할 수 있다.

영상 검지기는 넓은 범위에 걸쳐 차량의 움직임을 관측할 수 있기 때문에 차량의 속도나 차종, 점유 시간, 교통량 등과 같은 교통 매개변수의 제공뿐만 아니라 주행 궤적의 추적(Tracking)과 예측도 가능하다.

<표 3> 영상검지방식의 분류

| 검지방 | 기술내용 및 특성 | 사용용도 |
|-------------------------|---|--|
| 영상 Loop 또는 Bar 방식 | <ul style="list-style-type: none"> Loop Coil 차량검지 방식과 동일하게 영상화면에 Bartype 또는 직사각형의 영상 Loop 또는 검지선(영상 line)을 설정하고 이 위를 통과하는 차량의 영상내 Pixels의 Grey Level 변화를 분석하여 차량의 존재여부를 검출함 2개의 영상 Loop 또는 검지선을 통과하는 차량의 통과 시간을 측정하여 차량속도등 기타 교통정보를 산출함 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 차량존재 검출/경보용 2. 교통신호 제어용 3. 고속도로 간선도로의 교통정보 수집통계 처리 |
| Video image Tracking 방식 | <ul style="list-style-type: none"> 영상 화면내의 차선별 또는 도로 내에 설정된 검지 Line 또는 검지영역(Area)내에 주행하는 차량에 의하여 발생하는 영상화소(Pixels)의 움직임을 추적하여 차량의 존재 및 속도 등을 컴퓨터에 의하여 교통정보를 산출함 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 정지 차량 검출 (고속도로, 터널) 2. 고속도로, 간선도로의 교통정보수집 3. 교통사고, 정체인식경보 |

다양한 측정 기능과 영상 그 자체의 방대한 데이터 양으로 인해 영상 검지기의 데이터는 실시간 처리가 요구되며, 움직이는 물체를 인식하는데 사용되는 영상 처리 기술로는 프레임 간의 차분 영상을 이용하는 방법, 다수 프레임 간의 대응점(matching point) 추출 기법, 배경 영상과 차분 영상을 이용하는 방법이 있다.

◦ 프레임 간의 차분 영상을 이용하는 방법

기본적으로 미분 개념을 이용한 것으로 고주파 잡음에 의한 영향이 크며 저속으로 움직이는 물체에 대한 검지 능력이 떨어짐. 또한 가장 큰 단점으로는 물체의 형상 파악이 어렵기 때문에 차종 구분이 불가능함

◦ 다수 프레임 간의 대응점(matching point) 추출 기법

여러 개의 프레임 메모리를 사용하여 움직이는 물체의 대응점을 추적하는 것으로 영상을 실시간으로 처리하는 데 어려움이 있음

◦ 배경 영상과 차분 영상을 이용하는 방법

차량이 존재하지 않는 도로의 배경 영상과 현재 입력된 도로 영상과의 차분 영상을 이용하여 차량을 검지하는 방법으로 현재 가장 많이 이용되고 있음. 그러나 주야의 바뀔, 구름 등으로 인한 조명 조건의 변화에 따라 배경 영상을 계속해서 갱신해 주어야 하며, 배경 영상과 움직이는 물체가 식별이 곤란한 경우 검지에 실패할 수도 있음

상기의 영상 처리 기법들을 전체 영상에 그대로 적용할 경우 실시간으로 영상 자료를 처리하는 데 어려움이 많기 때문에 차선마다 특정 크기의 검지 영역(Window)을 설정하여 그 내부의 차량만을 검지하거나 또는 각 차선에 평행하거나 수직인 몇 개의 선을 사용하여 차량을 검지하는 것이 전체 영상을 사용하는 것보다 자료의 처리 속도 면에서 효율적이다.

라. 초단파 레이더 검지기

단일의 루프 검지기나 초음파 검지기로는 교통정보 중 점유시간이나, 교통량과 같은 정보를 얻을 수 있지만 차량의 속도를 얻기 위해서는 어려운 점이 많다. 단일의 루프나 초음파 검지기에서 나오는 점유시간은 검지영역의 크기와 차량의 길이, 그리고 차량의 속도에 관계하여 나오는 출력이다. 검지영역이 고정된 경우 차량의 속도에 비례하여 나오는 점유시간의 함수로 속도를 산출하는 경우 실제 속도를 충실히 반영할 수는 없다. 점유시간은 통과차량의 길이의 함수이기 때문에 단일 루프나 초음파 검지기를 이용하여 속도를 산출하는 방식에는 문제가 있으며, 속도를 얻기 위해서는 연속한 2개의 검지기를 조합하여 속도를 산출할 수 있다. 그러나, 초단파 검지기는 단일 검지기로 루프 검지기나 초음파 검지기로는 얻기 어려운 차량의 속도를 검지 할 수 있는 검지기로 도플러 센서를 응용하여 고정된 검지기와 차량의 상대속도를 검지하여 속도를 얻을 수 있는 검지기이다. Microwave radar 차량검지기는 10.5GHz와 24.0GHz 근처

의 주파수대에서 관속으로 전자에너지를 전송하여 교통관리에 적용하기 위하여 개발되었다. 또한 이것은 범규제 부처인 경찰청에서 차량속도 감시를 위하여 빈번히 사용된다. 교통관리에서는 차량의 카운트와 속도측정에 사용된다. 차량의 수직도면을 측정하여 차량을 구분하기 위해 실험적인 모델이 사용되었다. Microwave radar 검지기는 일반적으로 날씨에 민감하지 않기 때문에 특별히 짧은 거리의 교통 모니터링에는 밤과 낮에 모두 작동한다.

■ 연속파인 경우

- Doppler shift로부터 차량의 속도를 측정가능
- 움직이지 않는 차량은 검지 불가

■ FMCW파인 경우

- 움직이거나 정지한 차량의 속도와 존재여부를 측정가능
- 시간에 따라 주파수가 변동하는 파동형태 - 차량의 존재검지
- 일정한 주파수 부분 - 속도의 검지

■ 펄스파인 경우

도로와 차량간의 범위의 차이를 측정하여 차량의 수, 존재여부와 점유시간 정보를 제공

<표 4> 초단파 검지기의 수집정보 및 특성

| 측 정 정 보 | 장 점 | 단 점 |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 교통량 ■ 차두시간 ■ 속도 ■ 점유시간 ■ 대개행렬의 길이 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 설치공사시 교통류의 흐름에 직접적인 장애가 없음 ■ 도로유지 보수시의 손상의 문제가 없음 ■ 설치가 용이함 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 상대적으로 구매·설치비용이 과다 ■ 설치·유지보수시 전문인이 필요하다. |

마. 초음파 검지기

초음파는 매질 속을 전파하는 탄성 진정으로 "사람이 듣는 것을 목적으로 하지 않는 음파" 로 정의되고 있다. 초음파 검지기는 이러한 초음파를 검지센서 매체로 이용하여 도로위의 차량에 주사하여 차량에서 반사하는 반사파를 검지하여 차량의 유무를 검지한다.

차량검지를 위한 초음파 검지기는 인간의 청각범위를 넘는 20kHz와 200kHz사이의 주파수로서 음파를 방출한다. 그것은 해발에서 공기를 통해 700mph의 속도로 전달되는 압력파동이다. 초음파 검지기는 일반적으로 펄스와 연속파동 에너지를 전송하고 레이더에 사용되는 것과 비슷한 시그널 전송기법을 사용한다. 이것으로 교통량, 속도, 점유율, 차량의 존재, 대기행렬의 길이를 예측할 수 있다. 초음파 파동은 공기를 통해 이동하므로 습기, 공기의 방해, 주위 온도 등의 환경요소에 의해 왜곡되거나 약해질 수 있다. 거의 모든 물체가 초음파 소리 파동을 반사하지만 직물이나 구멍이 많은 표면은 약한 반향을 나타낸다. 그러므로 눈에 덮인 차량은 아마 더욱 검지하기 어려울 것이다. 초음파 검지기를 이용하여 측정할 수 있는 교통정보와 특성은 아래 표와 같다.

<표 5> 초음파 검지기의 수집정보 및 특성

| 측 정 정 보 | 장 점 | 단 점 |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ 교통량 ■ 존재시간 ■ 속도 ■ 점유율 ■ 대기행렬의 길이 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 설치공사시 교통류의 흐름에 직접적인 장애가 없음 ■ 루프 검지기와 일체로 사용하여 차종의 분류가능(4종이상) ■ 노면파손 및 도로공사에 관계치 않음 | <ul style="list-style-type: none"> ■ 상대적으로 구매·설치비용이 과다 ■ 검지영역이 원추형이고, 다양한 차량구조와 높이에 부정확 ■ 방향성을 갖지 못하며, 주변 환경에 민감 |

바. 음향 검지기

일반적으로 이 검지기는 마이크를 지상에 쌍극으로 배열하여 차량이 접근함에 따라 발생하는 소음을 통해 차량을 검지하게 된다. 즉, 마이크를 보다 높은 위치와 낮은 위치에 설치하여 차량으로부터 발생하는 소음이 차량에 도달하는 시간의 차이를 이용한다. 차량이 먼 거리에 있을 경우 차량의 소음은 거의 동시에 두 마이크에 전달된다. 그러나 차량이 마이크 바로 직전에 있을 경우 상위 마이크와 하위 마이크의 소음 전달 시간은 차이를 보이게 된다. 차량들은 마이크간 상호 상관관계를 이용하여 추적하게 되며, 소음의 대역폭이 50~2000Hz에서 필터링 되었을 경우 최적의 결과를 산출한다. 이 대역폭은 엔진과 타이어의 소음을 포함한 것이다(대부분의 소음은 타이어에서 발생한다). 많은 차량에서 발생하는 소음간의 방해요소는 음향 기술에 대한 가장 큰 제약이다. 그리고 검지와 속도에 대한 수행도는 상대적으로 빈약한 편이다.

사. 적외선 검지기

적외선 검지기는 포토다이오드(Photodiode)를 사용하는 것으로 검지 할 수 있는 영역을 미리 설정해 두고 이 영역을 통과하는 차량에 대한 데이터를 검출한다. 이 시스템에서는 적외선 신호를 내보내어, 도로 표면으로부터 반사 신호와 통과한 차량으로 인한 반사 신호를 검지하고 이것을 통하여 통과한 차량에 대한 데이터를 얻는다. 또, 도로의 여러 지점에 적외선 검지기를 설치함으로써 각 차선에 대해서도 통과차량, 속도, 전장 등과 같은 자료를 수집하고 있다. 적외선 검지기는 유지비가 저렴하고 설치가 용이하다. 이 시스템은 기본적으로 2개의 적외선 송수신기로 구성되어 있다. 도로 위에 설치한 송수신기에는 각각 검지영역이 있고, 적외선 검지기로 구성된다.

시스템은 충분히 큰 적외선 출력이 있어야 하고, 수신기의 민감도가 효과적이어야 한다. 신호 대 잡음비를 최소화하기 위해 시스템은 1kHz의 펄스모드에서 운영해야 한다. 1kHz의 주파수는 차량의 긴 점유시간과 비교하여 충분하다. 이 방법으로 차량에 대한 신호는 다른 유사한 신호와 구별되어질 수 있다. 적외선 빔을 조사했을 때 타원형을 검지 할 수 있는 영역이 형성되는데 차량이 이 영역을 통과하면 빔이 차량에 의해서 반사된다. 수신기 또한 도로의 같은 영역을 관찰할 수 있도록 동일한 형태로 설치한다. 수신된 적외선 빔은 펄스형태로 나타난다. 지나가는 차량과 도로표면으로부터의 반사신호를 검지하기 위해 두 개의 포토다이오드가 있고, 포토다이오드의 출력은 AGC를 통하여 계수기로 들어간다. 여기서 지나간 차량의 숫자가 파악되고 디스플레이 된다. 수신신호와 송신신호를 가지고 프로세서(TMS)가 차량의 속도와 길이를 계산해낸다.

제3절 선행연구고찰

가. 실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기 체계 연구(이승환, 1996년)⁴⁾

이승환의 연구에서는 신호교차로에서의 교통변화에 따른 교통상태를 실시간으로 정확히 판별해 내기 위한 루프 검지기의 적정 형태 및 위치를 결정하였다. 교차로 정지선의 직진용 루프검지기의 적정 형태는 점유와 비점유시간의 신뢰도로서 결정하였으며, 도시간선도로상의 실시간 교통신호제어의 적용에 가장 적합한 루프는 특수형 루프가 적합하다고 판단하였다. 직진용 루프의 적정 위치는 정지선 부근에서의 차량의 이용특성상 정지선으로부터 50cm 이내에 설치하는 것이 바람직하다고 판단하였으며, 좌회전용 루프의 적정 위치는 정지선 부근의 좌회전 차선 이용행태로서 결정되며, 루프 한 개를 설치할 경우에는 정지선으로부터 20cm 이내에 설치하는 것이 바람직하다고 기술하고 있다. 상류부 루프의 적정형태는 특수형 루프(1.8x4.0m:1,7번)와 기존시스템에서 사용하고 있는 루프(1.8x1.8m:1번)가 검지기준에 따라 모두 적합하다고 판단되었다. 대기행렬 검지기 및 앞막힘(Spillback) 예방 검지기의 위치는 링크길이, 횡단보도 여부, 대기행렬 예측범위 등을 고려하여 각 검지기의 위치가 결정되었으며 또한 링크길이가 250m이하인 경우는 대기행렬을 관리(Queue Management)하는 측면에서 검지기위치가 고려되어야 한다고 기술하고 있다.

4) 이승환, 이철기, 실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기 체계 연구, 대한교통학회지 31('96.6) pp.59-88 1229-1366 KCI, 1996

나. 영상검지기 기반 반감응 신호제어시스템의 성능 평가 및 효과분석 방법론에 관한 연구(이철기 외, 2012년)⁵⁾

이철기의 연구에서는 영상검지기를 기반으로 반감응 신호제어의 효과 분석 및 성능평가를 위한 방법론을 수립하였다. 개발된 방법론에서는 반감응 신호제어시스템의 특성을 고려하여 교통환경 개선 파악에 유용한 효과척도와 조사항목이 우선 설정되었고, 현장조사와 평가를 통해 시스템의 성능 및 도입에 따른 교통환경의 개선효과를 파악할 수 있는 방법을 제시하고 있다. 또한 개발된 방법론을 파주시 반감응 신호제어시스템에 대해서 사례 분석을 실시하였다. 단일교차로와 간선축으로 구분된 사례분석에서 교통량, 통행속도 항목과 신호효율측면의 현시이용효율, 연동효율 등 선정된 효과척도 분석결과 시스템 도입에 따라 일정수준의 개선효과가 있는 것으로 나타났다.

다. 구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발(정영제 외, 2005년)⁶⁾

정영제의 연구에서는 구간통행시간과 같은 링크의 속성정보를 수집 가능한 검지체계를 구간검지체계로 정의하여 이러한 검지체계를 기반으로 실시간 신호제어 알고리즘을 개발하였다. 신호제어를 위한 변수는 공간적 개념을 가지는 대기행렬길이를 제안하였다. 개별차량에 대해 검지기 통과 시 차량의 ID와 통과시각이 수집 가능한 DSRC와 같은 기술을 이용

5) 이철기 외, 영상검지기 기반 반감응 신호제어시스템의 성능평가 및 효과분석 방법론에 관한 연구, 한국ITS학회논문지 11(1) 1-12 1738-0774 KCI, 2012

6) 정영제, 김영관, 백현수, 구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제23권 제8호 통권86호(2005. 12 특별호) pp.181-191 1229-1366 KCI, 2005

하여 링크 통행시간을 수집하며, 한 주기 동안 수집된 개별차량 통행시간은 지체를 경험한 차량과 그렇지 않은 차량으로 구분된다. 이를 이용하여 대기행렬 해소시간을 산출가능하며, 결정적 지체모형을 기반으로 주기별 최대대기행렬을 산출하였다. 실시간 신호제어의 목표는 접근로별 대기행렬의 균형화로서 각 접근로의 대기행렬이 사전에 정의된 임계대기행렬을 초과하지 않는 범위에서의 균등화될 수 있도록 대기행렬의 비율에 따라 신호시간을 배분하는 방법을 이용하였다.

라. 적외선 전용 단거리 무선 통신(IR-DSRC)를 이용한 실시간 신호 제어 시스템 구성 방안(정성대 외, 2004년)⁷⁾

정성대의 논문에서는 IR-DSRC 검지시스템을 이용하여 수집된 교통정보는 탐재장치에 입력된 정확한 정보를 노변장치를 통해 전달되기 때문에 기존의 루프검지기를 통해 전달되기 때문에 기존의 루프검지기를 통해 얻을 수 있는 평균 속도뿐만 아니라 차량 진입시점에서의 순간속도, 차량의 흐름 및 차량의 종류까지도 실시간으로 정확하게 파악할 수 있다. 특히 루프검지기는 차량의 크기에 따라 6종의 분류만이 가능했지만 IR-DSRC 검지시스템에서는 긴급차량, 버스, 택시, 화물차량, 승용차, 승합차 등과 같은 용도까지 확인할 수 있어 보다 세분화되고 정확한 정보를 알 수 있다. 이러한 세분화되고 정확한 정보를 통해, 버스 우선 신호제어시스템, 응급차량 우선신호제어시스템과 같은 새로운 교통제어 알고리즘이 개발될 수 있다고 주장하고 있다.

마. 무선통신 검지자료를 이용한 통행시간기반 신호

7) 정성대, 박수진, 이상진, 적외선 전용 단거리 무선 통신(IR-DSRC)를 이용한 실시간 신호 제어 시스템 구성 방안, 한국ITS학회 2004년도 제3회 정기총회 및 추계학술대회, 2004

제어 알고리즘 개발(백현수, 2007년)⁸⁾

백현수의 논문에서는 녹색시간의 배분 및 주기결정을 통해 독립교차로의 각 이동류의 평균지체가 전체방향의 평균값에 가까워지도록 하는 지체 균등화 알고리즘을 개발하였다. 녹색시간의 증감여부는 교차로 평균지체와 이동류별 평균지체와의 차이로 판단하였으며 증감정도는 지체변화율을 이용하여 결정하였다. 개발 알고리즘 평가결과 전체 차량으로부터 정확한 통행시간 지체자료를 이용하여 신호를 제어하는 경우에는 불포화 상태 및 일시적인 과포화를 포함하는 상태에서 모두 안정적인 지체와 녹색시간의 변화를 보였으며, 교통량 증가시에는 주기 및 녹색시간의 증가로 지체의 증가속도를 완화시키거나 지체를 감소시켰다. 개발한 통행시간 산정 알고리즘의 경우 교통량을 알 수 없는 상황을 전제로 하여 평가결과 교통량이 많고 표본 비율이 높을 경우에는 실제값과의 오차가 작았으나, 교통량이 적거나 표본비율이 낮은 경우에는 실제값과의 오차가 크게 나타났다. 교통량 특성을 알 수 없는 상황에서 통행시간지체를 산정하는데는 한계가 있었다. 30%의 프로브 비율 상황에서 개발 알고리즘을 적용한 결과 불포화 상태에서는 수렴하려는 경향을 보이며 지체를 조절하나 과포화상황에서는 수렴하지 못하고 지체도 크게 증가하는 것으로 분석되었다. 불포화 상태에서 안정적인 지체와 녹색시간의 변화를 보였다. 과포화상태에서는 지체값의 크기가 커졌으나 지체값의 증가에 따라 녹색시간이 증가하였으며, 과포화 상태 해소 이후에는 안정적인 지체와 녹색시간 변화를 보였다.

바. 무선 센서 네트워크 기반의 차량 검지 시스템을 위한 교통신호제어 기법(홍원기 외, 2012년)⁹⁾

8) 백현수, 무선통신 검지자료를 이용한 통행시간기반 신호제어 알고리즘 개발, 서울시립대학교 박사학위논문, 2007

홍원기의 논문에서는 기존 차량 검지시스템의 문제점을 해결하기위해 도로 주변에 설치된 센서노드와 차량 간의 통신을 통해 교통정보를 획득하는 차량-도로 간 통신 기반의 차량 검지시스템을 제안하였다. 제안하는 차량 검지시스템은 차량과 센서노드 간의 통신을 통해 교통정보를 획득하므로 신뢰성 있는 정보의 획득이 가능하며, 설치 및 관리 비용이 저렴하고 보다 다양한 정보의 획득을 가능하게 한다고 주장하고 있다. 또한 각 센서노드는 도로 상에 자신의 검지영역을 가지고 있어 구역별 상세한 교통정보의 획득이 가능하며 제안하는 차량 검지시스템으로부터 획득한 정보를 바탕으로 교통신호를 제어하는 구역 분할 신호제어 기법은 교차로에 인접한 구역을 우선으로 차량 밀도에 따라 현시 지속시간을 결정하고 있다. 또한 기존 신호제어기법에서 고려하지 않은 좌회전 차량도 고려하여 현시 지속시간을 결정하므로 전체 교차로의 차량 신호 대기시간을 감소시키는 결과를 얻었다고 기술하고 있다. 제안하고 있는 구역 분할 기반 교통신호 제어기법은 성능평가를 위해 기존 신호제어기법인 고정시간 신호제어 기법, Gomide, Mamdani가 제안한 퍼지 신호제어기법을 비교대상으로 실험하였으며 실험결과 구역 분할 기법은 기존 퍼지기법에 비해 차량 평균대기시간이 최대 121 %, 평균지체시간이 최대 56 %, 비용함수가 최대 102 % 개선된 것을 확인하였다고 한다.

사. 실시간 차량 검지를 위한 펄스 레이더 신호처리 알고리즘(우광준 외, 2006년)¹⁰⁾

우광준의 연구에서는 펄스 레이더 신호에서 차량이 있는 부분을 따로 구분하여 섹터로 지정하고 섹터의 SSC파라미터를 판별식에 이용하여 차

9) 홍원기, 심우석, 무선 센서 네트워크 기반의 차량 검지 시스템을 위한 교통신호제어 기법, 제어·로봇·시스템학회논문지 18(8) 719-724 1976-4529 KCI, 2012

10) 우광준, 류석경, 실시간 차량 검지를 위한 펄스 레이더 신호처리 알고리즘, 제어·로봇·시스템학회논문지 제12권 제4호 (2006. 4) pp.353-357 1976-4529 KCI, 2006

량의 유무를 검지하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 기존에 제안했던 알고리즘의 단점인 처리속도를 향상시키기 위하여 한번의 데이터입력만으로 모든 처리가 가능하도록 알고리즘을 설계하여 20ms내에 처리가 가능함을 보여 실시간으로 차량검지가 가능함을 보였다. 한편 레이더로부터 거리가 가까운 경우의 인식률이 떨어지는 경우가 발생하는데 이는 레이더와 거리가 가까운 경우 신호의 진폭이 상대적으로 크기 때문에 이에 대한 표본데이터의 추출을 통해 판별식을 작성하여 적용해야 하며 또한 실험에 의해 거리에 따른 신호의 스케일 값을 적용하여 알고리즘을 테스트하는 연구도 수행되어 실제 환경에 적용 가능할 수 있도록 해야 한다고 주장하고 있다.

아. 대기길이 기반의 최적 신호제어 알고리즘 개발(이철기, 2002년)¹¹⁾

이철기의 연구에서는 공간적 정보를 수집할 수 있는 영상검지기를 이용하여 대기길이를 산출하는 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 접근로 상·하류부에 각각 영상검지기를 설치하여 대기길이를 측정하는 방법을 사용한다. 또한 산출된 대기길이를 기반으로 새로운 신호제어모형을 제시하였다. 특히, 대기길이 기반의 주기길이와 녹색시간을 산출하는 절차와 알고리즘을 제시하였다. 제시한 알고리즘에 대한 검증을 위해 네트워크 환경을 구축하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과, 제안 모형이 기존모형보다 운영효과가 높게 나타났다.

자. 기존의 루프검지기와 호환성 있는 레이더 차량감지기(정기 외, 2000년)¹²⁾

11) 이철기, 오영태, 대기길이 기반의 최적 신호제어 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제20권 제2호 통권60호 (2002. 4) pp.135-148 1229-1366 KCI, 2002

12) 정기, 정재권, 김인석, 기존의 루프검지기와 호환성 있는 레이더 차량감지기, 한국전자기학

정기의 연구에서는 기존의 루프검지기와 호환성이 있는 레이더 기술을 이용한 차량검지기를 개발하였다. 24Ghz의 FMCW 고도계화 도플러 속도계 기술을 이용하여 도로상의 차량의 길이와 속도정보를 알아낼 수 있는 비매설형의 차량검지기이다. 신호처리에는 DAQ 보드를 이용하였고, 응용 소프트웨어인 Lab View로 프로그래밍하였다. 기존의 루프검지기와 연결된 교통정보 네트워크와의 호환성을 위해 RS-232C 표준 인터페이스를 이용하여 VDS(Vehicle Detector System)로 차량데이터를 전송하였다. 속도와 차량길이 정보의 정확도에 있어서 기존 루프검지기 보다 약 10% 정도 향상되었음이 측정되었다. 그러나 본 논문과의 차이점은 루프검지기의 에플레이터 기능에 머물러 개발되었으므로 대기행렬, 접근로 상의 거리 및 속도추적 등의 공간정보를 산출하지 못한다는 점이다. 즉 루프검지기를 대체하기 위해 지점검지기의 역할을 대신하기 위해 연구된 논문이다.

차. [특허]복수개의 루프 검지기를 이용한 교통신호 제어시스템(배희숙, 2004)¹³⁾

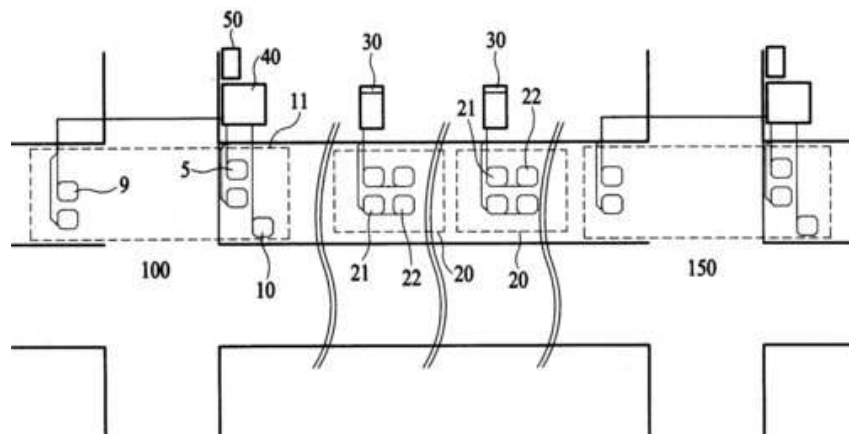
배희숙의 발명은 교차로에 진입하는 차량의 흐름 정보를 보다 정확하게 검지하고 무선통신방식으로 정확하게 전송 제어할 수 있도록 한 복수개의 루프검지기를 이용한 교통신호 제어시스템에 관한 것으로, 소정의 교차로를 기준으로 하여 소정 거리 밖에 존재하며 같은 차로에 소정의 거리를 두고 차량의 진행방향으로 연속으로 두개의 루프코일을 설치하는 루프검지기에 의해서 루프코일 위를 지나는 차량수와 차량점유시간 뿐만

회 논문지(The journal of Korea Electromagnetic Engineering Society), v.11 no.8, pp.1346 - 1354, 1226-3133, 2000

13) 배희숙, 복수개의 루프 검지기를 이용한 교통신호 제어시스템(특허), IPC 코드:G08G 1/09, 출원번호:1020030072526(2003.10.17), 등록번호100446461(2004.08.20), 2004

아니라 차량의 정확한 속도와 차량길이도 정확하게 측정하도록 하여 교통신호제어장치의 신호주기에 실시간으로 반영함으로써 원활한 교통흐름에 제어하기 위한 것이다.

<그림 12> 복수개의 루프 검지기를 이용한 교통신호 제어시스템



대표청구항은 5개로 구성되어 있으며 그 내용은 다음과 같다.

- 소정의 교차로를 기준으로 하여 소정 거리 밖에 존재하며 같은 차로에 소정의 거리를 두고 두개의 루프코일이 차량의 진행방향으로 연속으로 설치되어 있는 제1루프검지기
- 상기 소정의 교차로를 기준으로 하여 소정 거리 안에 존재하는 하나 이상의 제2루프검지기
- 무선으로 데이터를 송수신하기 위한 제1안테나를 구비하고, 상기 제1루프검지기로부터 측정된 차량정보를 상기 제1안테나를 통하여 출력하며, 상기 제1 안테나를 통하여 소정의 제어 명령을 수신하는 대기행렬정보검지장치
- 상기 소정의 교차로에 인접하며 상기 제1안테나와 무선으로 데이터를 송수신하기 위한 제2안테나를 구비하고, 상기 제2안테나를 통하여 수신된 데이터를 수집하여 교통신호제어장치로 전송하고, 교통신호제어장

치에서 필요로 하는 대기행렬정보에 관한 제어명령을 상기 제2안테나를 통하여 전송하는 대기행렬정보수집장치

- 상기 소정의 교차로에 인접하며 상기 대기행렬정보수집장치에서 받은 데이터 및 상기 제2루프검지기로부터 측정된 차량정보로서 상기 소정의 교차로에 위치한 신호등의 동작을 제어하고, 상기 대기행렬정보수집장치에 필요한 데이터를 얻기 위한 제어명령을 전송하는 교통신호제어장치를 포함하는 것을 특징으로 하는 복수개의 루프 검지기를 이용한 교통신호제어시스템.

제3장 신호제어 검지체계 현황

제1절 감응식 신호제어 방식

감응식 신호 운영은 각 접근로의 해당 검지기에서 수집되는 교통량 자료를 기반으로 해당 이동류의 녹색시간을 결정하는 신호 제어 운영 방법이다. 이는 기존의 고정식 신호 운영이 교통량 변동에 상관없이 일정한 신호 시간을 제공함으로써 낭비되는 녹색시간을 없애고 교통량이 많은 현시에 더 많은 녹색시간을 서비스할 수 있다는 장점을 갖는다. 감응식 신호제어는 적용범위에 따라 완전감응제어(Full-Actuated Control)와 반감응제어(Semi-Actuated Control)로 분류되며, 수요대응 기능에 따라 일반 감응제어와 교통량-밀도제어(Volume-Density Control)로 구분된다.

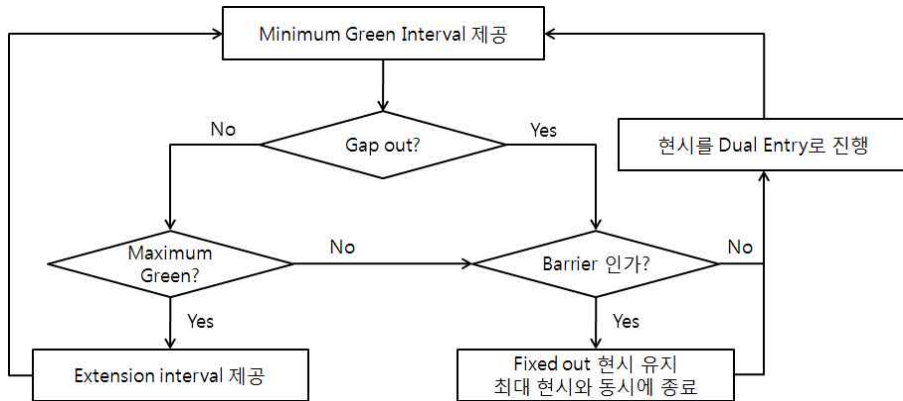
1. 완전감응 신호제어(Full-Actuated Control)

완전 감응 제어는 교통량 변동이 크고 주도로와 부도로의 교통량 차이가 크지 않은 교차로의 신호 운영에 효과적이다. 주도로와 부도로의 구분 없이 모든 접근로의 이동류를 감응의 대상으로 정의한다. 완전감응 신호제어의 알고리즘은 최소녹색시간 이후의 현시에 대하여 검지기의 차량 검지 유무에 따라 Gap-out을 결정하여 현시를 진행한다.

- 녹색시간은 Minimum Green이 종료된 후 부가 차량에 따라 단위 연장만큼 확장됨

- 탐색시간 연장은 지정된 Maximum Limit에 의해 종결됨
- 황색시간과 All-Red는 각 현시별로 지정됨

<그림 13> 완전감응 신호제어 알고리즘



2. 반감응 신호제어(Semi-Actuated Control)

반감응식 신호 제어 방식은 교차도로의 성격이 주도로와 부도로로 확연히 구분이 되는 경우에 효과적이며, 상대적으로 교통량이 적은 부도로에서 감응을 실시하고, 이는 주도로의 녹색시간을 최대로 보장하여 주도로 소통 상태를 원활하게 하기 위해 제어하는 방식을 말한다. 반감응식 신호 제어 방식의 신호 시간은 주 현시의 신호 시간을 중심으로 계산되어, 감응 현시의 차량이 존재하지 않는 경우는 주기의 모든 시간이 주 현시에 부여된다. 따라서 주 현시(비 감응 현시)의 녹색 시간의 최대값 지정이 없다는 특징이 있다.

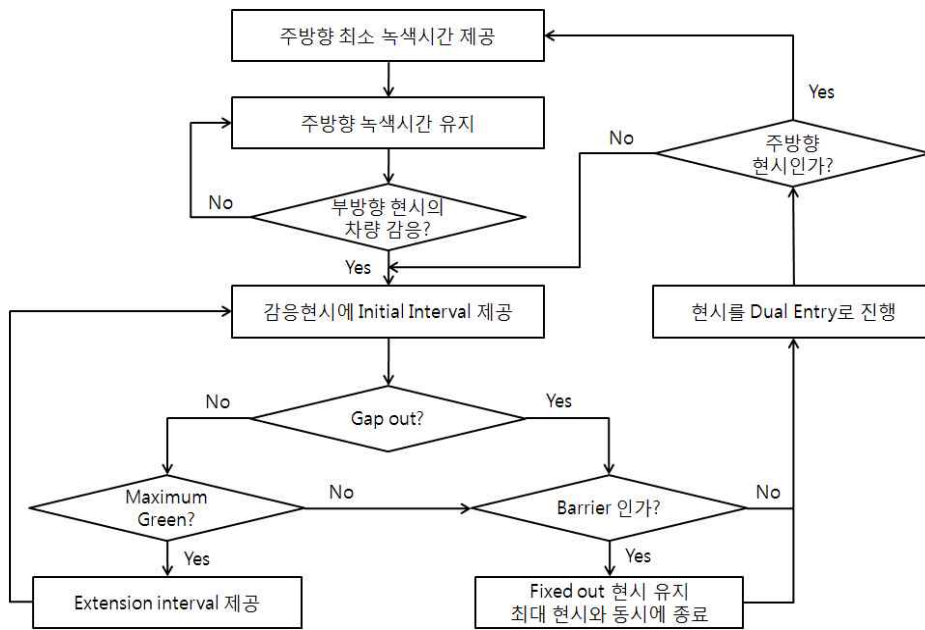
반감응 신호제어 알고리즘은 주방향 최소녹색시간 이후 부방향의 차량의 감응에 따라 현시 진행여부를 판단한다.

- 비감응 현시는 Minimum Green Interval 이후 다른 현시로부터 Call

이있을 때까지 확장됨

- 감응 현시는 비감응 현시가 Yield Point에서 종료된 후 차량 감응에 따라 Minimum Green Interval을 갖음
- 감응 현시는 Minimum Green Interval 이후 단위 연장이 이루어짐
- 감응 현시는 Maximum(Force-Off) 이후까지 연장 될 수 없음
- 황색시간 및 전 방향 적색시간은 운영자에 의하여 지정됨

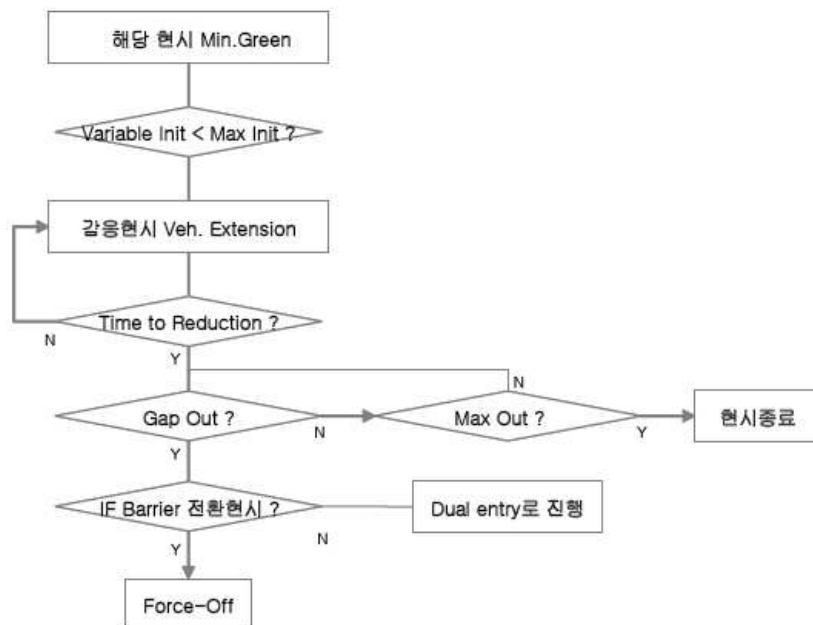
<그림 14> 반감응 신호제어 알고리즘



3. 교통량-밀도제어(Volume-Density Control)

교통량-밀도 신호 제어 방식은 완전 감응식 신호 제어 방식과 전체적으로는 유사하나 세부 제어 기능이 추가된 형태의 신호 제어 방식으로 야간이나 교통량이 적은 경우 접근 속도가 높아 현시 전환 시 발생할 수 있는 딜레마존(Dilemma Zone) 문제를 해결하기 위해 Basic Actuated 제어의 첨단 방식인 Volume-Density Control 을 실시하는 방식이다. 독립 교차로에 대한 교통감응신호기 중에서 가장 이상적이며 복잡한 제어기로서 녹색시간은 각 접근로의 교통량에 비례해서 할당된다. 다른 감응식 제어기와는 달리 미리 정해진 방식에 따라 감응하지 않고 교통량, 대기행렬 길이 및 지체시간에 관한 정보를 수집 기억하였다가 이를 이용하여 현시와 주기를 수시로 수정한다. 다음은 교통량-밀도 신호 제어 방식 알고리즘의 신호 계산 과정의 주요 흐름도이다.

<그림 15> 교통량-밀도 신호제어 알고리즘



4. COSMOS 좌회전 감응제어

COSMOS의 감응제어는 지역컴퓨터(RC)의 원격제어 상황보다는 거의 독립교차로의 전술적인 제어의 차원에서 실행된다. 감응제어는 불필요한 녹색시간을 조기종결하고 수요가 많은 접근부로 녹색시간을 넘겨줌으로서 녹색시간 이용의 최대화를 도모하는 제어방식이다. 지역제어기는 결정된 신호계획을 기본적으로 수행하면서 감응제어 기능에 의해 검지기 정보에 의한 해당시간의 교통상황에 따라 즉각적으로 신호시간을 조정하여 제어한다.

가. 조기종결 감응제어

조기종결감응제어는 좌회전 차량의 수요가 더 이상 없다고 판단되는 조건이 되면 좌회전을 종결하고 직진 현시로 이동하는 제어이다. 종결하는 시점의 판단 방법에 따라 한계비점유(Gap) 감응제어와 누적손실시간 감응제어로 구분한다. 갭감응 제어방법과 누적손실시간 감응제어는 선택적으로 혹은 각각의 결과에 대하여 OR 조건으로 한가지의 감응 조건이라도 되면 조기종결하는 혼합적용을 할 수 있다. 운전자에게 혼란을 주지 않기 위해서 조기종결시에는 두 가지 방법 모두 최소녹색시간을 유지하게 된다.

◦ 한계비점유(갭감응) 방법

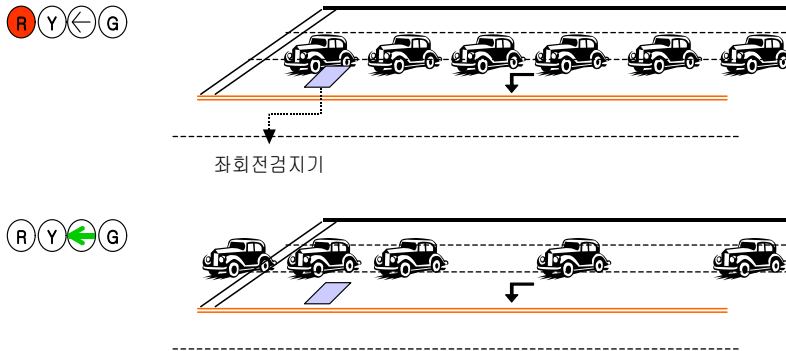
- 좌회전 차량의 수요를 좌회전 차량들의 간격을 기준으로 판단하여 사전에 지정된 Gap-out 시간동안 차량의 Call이 존재하지 않을 경우에 녹색시간을 조기 종결하는 개념으로, 측정된 단위 비점유 시간이 한계비점유시간 값을 초과하면 해당 좌회전 현시를 종료하고 다음 현시를 진행함

- 누적손실시간 방법
 - 차량간격(Gap)의 개념을 손실시간과 연관지어서 운영하는데 손실시간이란 차량한대가 통상 갖는 포화 비점유시간 이상으로 교차로를 통과하였을 때 그 초과된 비점유시간을 뜻함
 - 좌회전 차량의 수요가 적을 때는 필요한 현시를 이용한 후에는 차량간의 간격이 넓어지게 되며 손실시간도 증가함
 - 현시시작부터 각각의 차량들의 손실시간 (비점유시간-포화비점유시간)을 누적해 나가며, 그 값이 한계 손실시간값을 초과하고 현시진행시간이 최소녹색시간을 지났으면 해당 좌회전 현시를 종결하고 다음 현시를 진행함

나. 현시생략 기능

루프검지기의 경우, 좌회전 감응제어에 이용되는 검지기는 정지선 가까이 설치되어 있으므로 검지기상에 차량이 없어 좌회전 차로에 차량이 한대도 없다라고 예측하여 현시 생략을 시도하는 경우 안전상의 문제가 있기 때문에 이전의 몇 주기(기정값 3주기)의 상황을 고려하여, 차량의 존재 유무를 판단한 후에 현시생략 수행한다. 영상검지기가 설치된 경우에는 해당 차로의 대기길이를 실측할 수 있으므로 대기길이가 없는 경우는 이전 주기의 교통량 고려 없이 현시생략을 해도 무방하다.(단, 해당 이동류의 딜레마존의 시작지점까지 대기행렬을 실측할 수 있는 경우만 해당됨.)

<그림 16> COSMOS 좌회전 감응제어 개념도



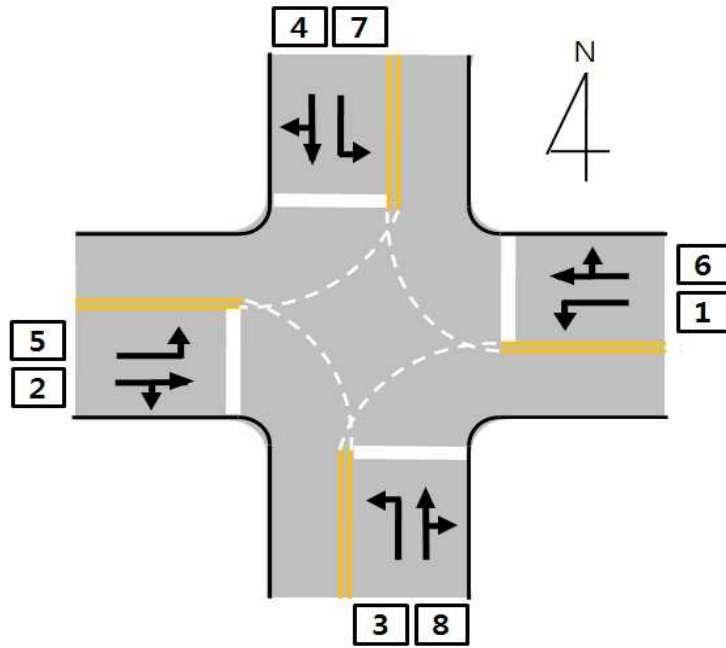
제2절 현시 및 검지기체계

1. 현시체계

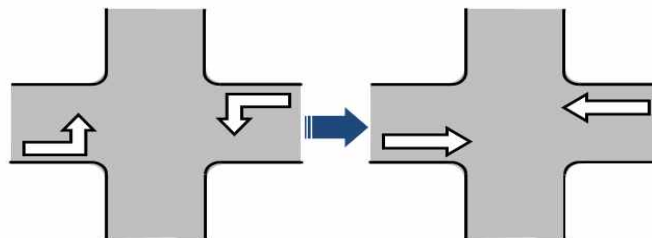
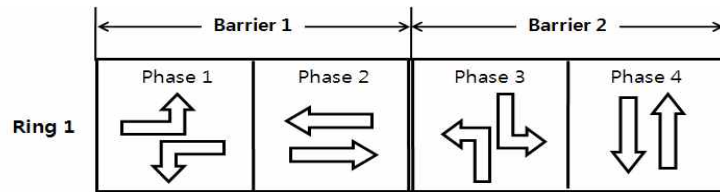
가. Single Ring / Dual Ring

감응제어의 현시(Phase)체계는 2현시에서 8현시까지 구현이 가능하며, 현시조합은 Single Ring과 Dual Ring으로 구분된다. Single Ring은 한 현시가 하나의 이동류로 이루어지는 것이 아니라 동시에 두 개 이상의 이동류가 한 현시로 정의되어 같은 신호 시간을 받는 것이고, Dual Ring은 이동류 8개(직진과 좌회전)를 8현시로 표현하여 하나씩 서로 다른 신호 시간을 받는다. 감응 제어에서는 Dual Ring 8현시를 기본 값으로 설정하고 Single Ring은 운영상의 선택 사항으로 고려한다.

<그림 17> 8현시 순서번호

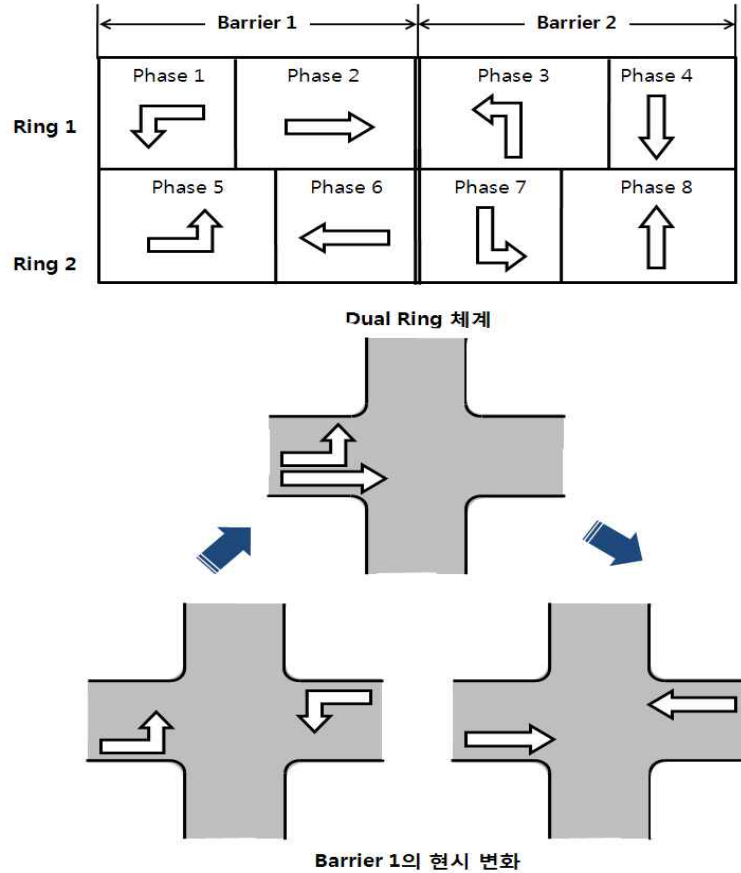


<그림 18> Single Ring



Barrier 1의 현시 변화

<그림 19> Dual Ring



나. Single Entry / Dual Entry


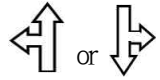





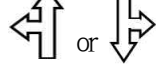

현시 진행방법은 Single Entry와 Dual Entry로 나뉜다. Single Entry는 지정된 현시 순서에 따라 진행 될 때 차량 감응이 없는 현시는 독립적으로 종료가능하며 이 경우 Barrier 내의 나머지 현시는 그대로 진행된다. 반대로 Dual Entry의 경우는 같이 진행되는 현시에 감응이 존재하지 않을 때 미리 지정된 방법에 따라 링에서 한 현시가 선택된다.

일반적으로 감응 제어 Dual Ring 8현시 운영에서는 Dual Entry가 Default로 사용되고 Single Entry는 운영자의 선택 사항으로 한다.

다. 현시 진행순서

현시 체계에서 현시 진행순서는 다음과 같이 3가지 방식으로 구분되고 이는 Barrier 내의 한 Ring의 두 현시 중 선행현시를 지정함으로써 결정된다. 다음 표는 남북방향을 기준으로 3가지 방식을 구분한 것이다.

<표 6> 현시 진행 순서

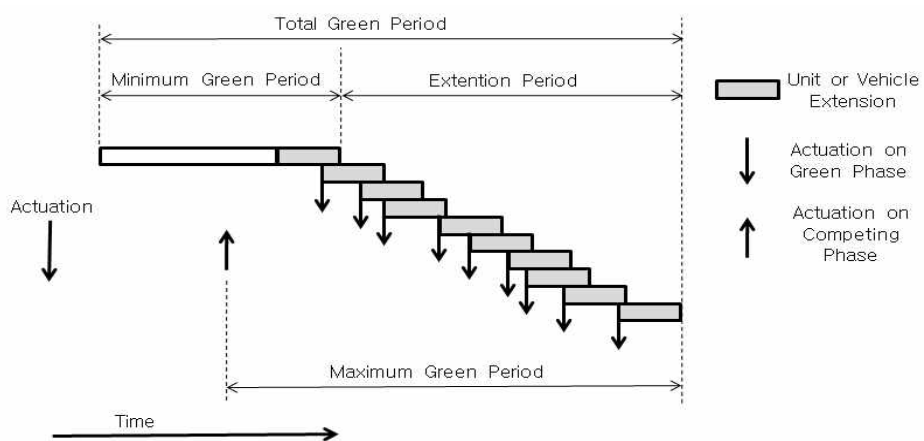
| 구분 | 내용 | 현시표시 | | |
|---|---|---|---|---|
| 1. 선행좌회전 (Left turn first) | <ul style="list-style-type: none"> 좌회전 동시 개시 좌회전과 직진 동시 운영 직진 동시운영 |  |  |  |
| 2. 선행 및 후행좌회전 (Lead-lag left turn first) | <ul style="list-style-type: none"> 직진과 좌회전 동시 개시 좌회전 종료 후 직진 동시 운영 직진과 좌회전 동시 운영 |  |  |  |
| 3. 후행좌회전 (Through movements first) | <ul style="list-style-type: none"> 직진 동시 개시 좌회전과 직진 동시 운영 좌회전 동시운영 |  |  |  |

라. 신호운영 변수

감응신호제어 운영은 최소녹색시간(Minimum Green), 진행연장시간

(Extension Interval), 최대녹색시간(Maximum Green Interval)의 변수로 운영되며 검지기의 차량 감응에 따라 녹색시간이 연장 또는 종결된다.

<그림 20> 감응신호제어 운영



◦ 최소녹색시간(Minimum Green Time)

감응신호제어에서는 각 현시마다 제공할 수 있는 최소녹색시간이 정해져야 하는데 기본적인 감응제어에서 최소녹색시간은 정지선과 검지기 사이에 저장할 수 있는 차량 수에 따라 결정된다. 지점검지방식(Point Detection)에서는 출발손실시간과 포화차두간격을 각각 4초와 2초로 설정하고, 차량대수(n)에 따라 최소녹색시간을 산정하며, 광역검지방식(Area Detection)에서 검지기가 정지선까지 연장되는 경우에는 최소녹색시간을 0초에 가깝도로 설정하고, 검지기 끝단이 정지선과 거리가 있는 경우에는 지점검지방식(Point Detection)과 같이 계산한다.

$$Minimum\ Green\ Time = \text{출발손실시간}(4\text{초}) + 2n$$

- 단위연장시간(Unit Extension Interval)

단위연장시간은 차량 간 수용할 수 있는 최대 차두간격으로, 차량이 검지기에서 교차로까지 진행하는데 소요되는 시간으로 설정하는 것이 보통이다. 연속하는 차량간의 차간간격(Gap)이 단위연장시간을 초과할 경우 녹색현시는 종료되며, 차간간격(Gap)이 단위연장시간 보다 짧으면 녹색현시는 계속 연장되어 최대녹색시간까지 진행한다. 현시가 종료되는 경우는 차량간 검지간격이 단위연장시간보다 길거나 최대녹색시간까지 연장되는 경우이다.

- 최대녹색시간(Maximum Green Time)

최대녹색시간은 상충하는 현시에 차량이 검지되었을 경우 현재 진행 중인 현시가 최대한 연장될 수 있는 시간으로, 일반적으로 30~60초의 범위에서 결정된다.

2. 검지기체계

감응식 신호제어에서 일반적으로 사용되는 검지기는 매설형 루프검지기(Inductive Loop Detector)이다. 루프검지기는 검지장치에서 공급하는 10~200kHz의 주파수를 갖는 에너지에 의해 도로 위에 매설된 루프코일에 균일한 인덕턴스를 가진 교번자장(alternative magnetic field)을 형성하고, 루프 위를 차량이 통과할 때 인덕턴스의 변화를 검지하는 방식의 지점검지기이다.

가. 검지모드

루프검지기는 크게 존재형 모드(Presence Mode)와 펄스형 모드(Pulse Mode)으로 구분된다.

- 존재형 모드(Presence Mode)

검지기 내에 차량이 존하는 동안 검지기의 차량점유상태를 유지하는 것으로 보통 Non-Locking Memory로 운영된다. Non-Locking Memory방식은 차량이 검지영역을 지나간 후에는 차량의 검지여부를 지워버리는 방식으로 회전교통수요가 높거나 부도로의 검지에 사용되는 방식이다. 적색신호시 우회전하는 차량들의 검지로 인한 비효율을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

- 펄스형 모드(Pulse Mode)

단위시간(보통 0.1~1.5초) 동안 차량이 검지되어 검지기의 점유상태를 인지하는 것으로 Locking Memory로 운영된다. Locking Memory방식은 차량이 검지되면 바로 현시를 제공할 수 있도록 검지신호를 기억하는 방식으로, 주로 직진차량으로 구성된 주도로 이동류의 현시제공에 적절한 방법이다. 그러나 검지된 차량이 적색신호시 우회전(RTOR ; Right Turn on Red)을 하였을 경우 기억하지 못하므로 대기차량이 없어도 신호를 줄 수 있다는 단점이 있다.

<표 7> 검지모드의 분류

| 구분 | 기억방식 | 특징 |
|---------------------------|--------------------|---|
| 존재형 모드 (Presence Mode) | Non-Locking Memory | <ul style="list-style-type: none"> · 차량이 검지영역을 지나간 후에 제어기가 차량의 검지여부를 지워버림 · 회전교통량이 많거나, 부도로의 교통량이 많은 경우 도시부 접근로에 적합함 · 정지선에 Large-Area검지기를 사용하는 경우에 적용함 · RTOR을 검지하기 위한 정지선 검지기에도 적용함 |
| 펄스형 모드 (Pulse Mode) | Locking Memory | <ul style="list-style-type: none"> · 0.1~0.15초 Pulse로 call 상태를 인지하는 것으로 상류부 검지기에 사용됨 · 적색시간에 도착하는 교통량에 최대한 빨리 녹색신호를 줄 수 있음 · RTOR이나 항색신호 시 통과한 차량을 확인할 수 없다는 단점이 있음 · 주로 상류부나 Small-Area검지기를 사용하는 경우에 적용함 |

나. 검지기 설계

검지기 크기에 따른 검지기 설치 위치 및 길이 설정은 다음과 같다.

◦ Small-Area검지기

Small-Area검지기(지점검지기)는 한 지점에서 차량의 통과를 검지하는 방식으로 Short-Loop, Point, Passage검지기로도 불린다. 보통 검지기의 크기는 1.8m×1.8m(6ft×6ft)이며, 한 차로 혹은 여러 차로에 걸쳐 설치하며 Pulse 또는 Presence Mode로 검지하고, 제어기상에는 Locking Detection Memory로 운영된다.

<표 8> 검지기 위치와 관련된 시간 값

| 접근속도 kph(mph) | 검지기 Set-Back m(ft) | 대기가능 차량대수 (대) | 초기 녹색시 간 (초) | 단위 연장시 간 (초) | 안정적 최소녹색시간 (초) |
|------------------|--|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 24(15) | 23(77) | 3-4 | 8.5 | 3.5 | 12 |
| 32(20) | 31(103) | 4-5 | 10.5 | 3.5 | 14 |
| 40(25) | 36(120) | 5-6 | 10 | 3.5 | 13.5 |
| 48(30) | 36(120) | 5-6 | 10 | 3.5 | 13.5 |
| 56(35) 이상 | 기본 감응식 신호제어에서는 사용하지 않으나 접근속도가 56kmp(35mph)이상일 경우, Variable Initial Interval이 요구됨 | | | | |

◦ Large-Area검지기

Large-Area검지기는 검지영역 내에 차량이 점유되는 시간만큼 차량 Prencce를 검지하는 방식으로 Long-Loop가 주로 사용된다. 제어기에는 Non-Locking Detection Memory로 운영되며, 검지기의 길이는 교차로 접근속도와 제어기의 단위연장 설정 값에 따라 달라진다.

$$L = 1.47 \times V(3 - U.E) - 18$$

여기서, L : 검지기 길이(ft)

V : 접근속도(mph)

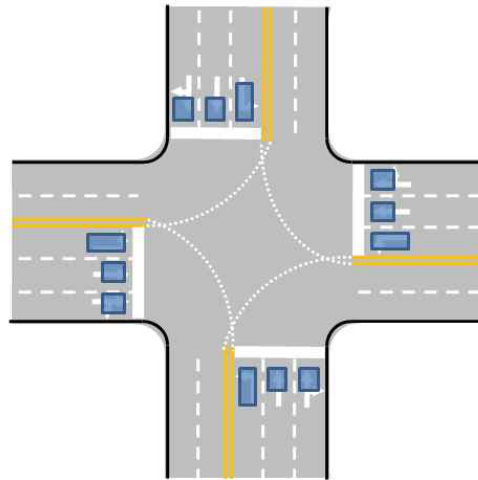
U.E : 제어기 단위연장시간

(Controller Unit Extension interval : 통상 0~1.5초 사용)

다. 검지기 구성

완전감응제어는 모든 방향에 대해 감응을 실시하기 때문에, 각 접근방향 모두 검지기를 설치한 반면, 반감응제어의 경우 교통량이 적은 주도로 좌회전과 부방향에 대해서만 감응을 실시하므로 검지기를 좌회전 차로에만 설치한다.

<그림 21> 완전감응제어 검지기 구성

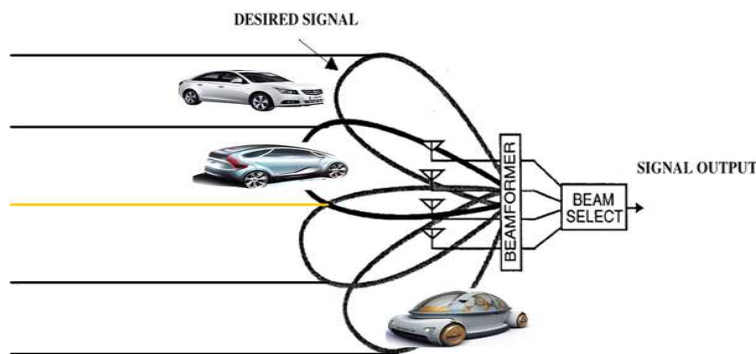


제4장 레이더센서를 이용한 실시간 검지체계 개발

제1절 개요

본 연구는 교통수요를 반영한 실시간 신호제어(Signal Control)를 위하여 차량대기행렬(Queue) 기반의 신기술 대체검지기(Detector)를 개발하는 것이다. 설치위치는 교차로 반대편에서 접근로를 마주보는 신호등 지주(Pole)의 암(Arm)에 위치한 신호등 램프에 설치하며 검지범위는 정지선에서 접근로 전체를 대상범위로 하여 신호등 지주를 이용한 공중의 가공선을 이용한 유선통신이나 근거리 무선통신에 의해 제어기와 연결하고자 한다. 이를 위해 위상배열 안테나를 이용하여 차량의 방향을 추정하고 빔이 조향한 방향의 차량속도와 레이더로 부터의 거리를 검출하며 대상구간에서 차량을 제외한 다른 노이즈 신호들을 제거하여 원하는 구간의 차량만의 대기행렬 정보를 검지한다.

<그림 22> 레이더센서를 이용한 차량검지시스템 개념도



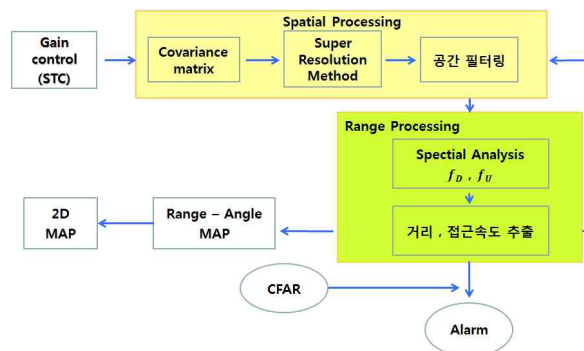
이를 위한 연구의 구체적인 내용은 다음과 같다.

- 위상배열 안테나를 이용해 차량의 방향 추정
- 빔이 조향한 방향의 차량의 속도와 레이더로부터의 거리 검출
- 차량을 제외한 노이즈 제거
- 대상구간의 차량 흐름 분석

레이더센서를 이용한 차량검지시스템의 신호처리 절차는 수신되는 신호를 상호분산 행렬을 연산하고 이 신호의 분해능을 높이기 위해 초해상도 방법을 이용하여 차량의 방향을 추정한다. 또한 차량의 방향을 조향한 후 FMCW 신호를 이용하여 특정차량의 속도와 거리를 검출하며 여러 대의 차량을 동시에 검지할 경우 차량 각각의 방향과 거리에 대한 정보를 나타내어 전체적인 교통상황 및 대기행렬을 표출하게 된다. 이를 구현하기 위한 구체적인 내용은 다음과 같다.

- 센서의 수신신호를 이용하여 Covariance matrix를 연산
- 분해능을 높이기 위해 초해상도 방법인 capon' s method를 이용하여 차량의 방향을 추정
- 차량의 방향을 조향한 후 FMCW 신호를 이용하여 특정차량의 속도와 거리를 검출
- 여러 대의 차량을 검출할 경우 각각의 방향과 거리 정보를 나타낼 수 있도록 Range-Angle map을 이용하여 교통상황을 표현

<그림 23> 레이더센서의 신호처리 블록도



제2절 레이더검지기의 실시간 신호제어체계

레이더검지기의 검지체계는 기존의 영상검지기를 이용하여 개발되어진 “대기길이 기반의 최적신호제어 알고리즘 개발¹⁴⁾” 논문의 체계를 기초로 필요한 부분수정을 통하여 이용하도록 한다. 이 신호제어 체계는 실시간용으로 개발되었으나 영상검지기의 한계성 때문에 아직까지 현장에 적용되지 못하고 있는 신호제어 알고리즘이다. 그러나 레이더검지기는 영상검지기의 가로수의 영향, 그림자 영향, 앞차량에 의한 뒷차량 가림 현상 등에 대한 영향이 크지 않고 대기행렬과 같은 공간자료를 사용하지 않으므로 자료의 속성이 영상검지기와 매우 유사하여 위에 제시한 논문의 알고리즘을 적용하고자 한다. 레이더검지기를 기반으로 적용하고자 하는 신호제어체계의 주요내용은 교통상황별 제어전략, 신호주기 산정, 녹색시간 산정 등이다.

1. 교통상황별 제어전략

교차로 접근로별로 실시간으로 산출되는 대기행렬 길이에 따라 교통상황을 정의하고 그에 따른 전어전략이 자동 설정되어 최적의 신호제어 변수가 산출된다. 알고리즘에서 신호제어변수들은 해당 링크상의 대기길이에 따라 다른 목표를 가지고 산출된다. 또한 대기길이는 접근로당 다른 교통상황이 전개될 수 있으므로 각 베리어상에 포함되는 접근로 상황 중 심각한 교통상황끼리의 조합에 따라 교차로의 교통상황으로 설정하고 이를 교차로의 제어목표로 삼아 제어가 시작된다. 교차로 제어환경의 변화는 연속된 3주기가 같은 패턴의 교통상황으로 제공되는 경우에 변화가 이루어 지도록 한다. 교차로 차원에서의 교통상황이 규정되면 그에 따른

14) 이철기, 오영태, 대기길이 기반의 최적 신호제어 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제20권 제2호 통권60호 (2002. 4) pp.135-148 1229-1366 KCI, 2002

교차로의 교통상황을 정의하고 제어목표를 설정하며 제어단계별로 신호 변수를 설정기준에 의해 설정한다.

<표 9> 교차로 교통상황 분류에 따른 제어단계

| 교통상황 | 제어단계 |
|-------|-------|
| 한산상황 | 비포화제어 |
| 정상상황 | |
| 과포화1 | 과포화제어 |
| 과포화2 | |
| 스필백상황 | 스필백제어 |

<표 10> 교차로 교통상황의 정의

| 교통상황 | 상황 정의 |
|-------|--|
| 한산상황 | 한 현시내에 대기차량이 모두 방출되고 여유녹색시간이 존재하는 상황 |
| 정상상황 | 한산상황에서 한번의 현시시간에 대기차량이 모두 방출되는 상황 |
| 과포화1 | 한 주기내에 대기차량이 모두 방출되지 않는 상황으로서 녹색시간 종결 후 이전 주기에 형성된 대기행렬이 링크상에 남아있으나 스피백 지점까지는 도달하지 않는 상황 |
| 과포화2 | 정지선에서 부터 대기행렬이 시작되어 대기차량의 끝단이 스피백 지점까지 도달하는 상태 |
| 스필백상황 | 접근로 상류부의 스피백 예방 검지영역을 특정 차량이 일정시간(약 5초) 이상 점유하고 있는 상황 |

<표 11> 교차로 교통상황별 제어목표

| 교통상황 | 제어목표 |
|-------|--|
| 한산상황 | 차량의 안전한 통행 |
| 정상상황 | 지체 최소화 및 연동의 최적화 |
| 과포화1 | 최대교통량 유출제어 및 과포화2 상황으로의 전개억제 |
| 과포화2 | 각 방향별 접근로의 스토리지 관리를 통해 스�필백상황으로의 악화 억제 |
| 스필백상황 | 에쿠티 오프셋(Equity Offset) 또는 리버스 오프셋(Reverse Offset) 적용 |

<표 12> 교차로 교통상황의 정의

| 교통상황 | 상황 정의 |
|-------|---|
| 한산상황 | 한 현시내에 대기차량이 모두 방출되고 여유녹색시간이 존재하는 상황 |
| 정상상황 | 한산상황에서 한번의 현시시간에 대기차량이 모두 방출되는 상황 |
| 과포화1 | 한 주기내에 대기차량이 모두 방출되지 않는 상황으로서 녹색시간 종결 후 이전 주기에 형성된 대기행렬이 링크상에 남아있으나 스�필백 지점까지는 도달하지 않는 상황 |
| 과포화2 | 정지선에서 부터 대기행렬이 시작되어 대기차량의 끝단이 스�필백 지점까지 도달하는 상태 |
| 스필백상황 | 접근로 상류부의 스��플백 예방 검지영역을 특정 차량이 일정시간(약 5초) 이상 점유하고 있는 상황 |

<표 13> 교차로 교통상황별 제어목표

| 교통상황 | 제어목표 |
|-------|--|
| 한산상황 | 차량의 안전한 통행 |
| 정상상황 | 지체 최소화 및 연동의 최적화 |
| 과포화1 | 최대교통량 유출제어 및 과포화2 상황으로의 전 개역제 |
| 과포화2 | 각 방향별 접근로의 스토리지 관리를 통해 스�필백상황으로의 악화 억제 |
| 스필백상황 | 에쿼티 오프셋(Equity Offset) 또는 리버스 오프셋(Reverse Offset) 적용 |

<표 14> 제어단계별 신호변수 설정기준

| 교통상황 | 주기 | 현시 | 오프셋 |
|------|--------------------------------------|--------------------------|-------------|
| 한산상황 | 접근로별 대기길이에 따른 유동성있는 주기길이 산정 | 대기길이에 따른 현시할 당으로 지체시간 감소 | 패턴선택 |
| 정상상황 | | | |
| 과포화1 | 주기길이를 증가하기 쉽게 감소하기 어렵게 하여 정상상황으로의 유도 | 스토리지 관리를 통한 스�필백상황 방지 | |
| 과포화2 | | 스필백 제어 가동 | 계산된 오프셋값 적용 |

2. 신호주기 산정 알고리즘

신호주기의 산정은 한산 및 정상상황에서는 해당 상황에서의 대기차량수에 따라 균등한 증감비율로 시간이 할당되지만 과포화1 이상의 상황에서는 대기차량의 일시적인 감소가 전체추이를 반영하는 것으로 보기에 위험성이 크다는 전제아래, 과포화1 상황으로 진입하기 시작하면 주기길이의 증가는 쉽고 감소는 어렵게하여 정상상황으로 복구에 노력한다.

[단계 1] 각 접근로상의 대기길이를 입력받는다.

[단계 2] 하나의 베리어내에 포함되는 축들의 가장 긴 대기길이를 각각 구한다.

[단계 3] 단계2에서 구해진 각각의 대기길이를 평균 차두길이를 나누어 차량수를 구한 후 차두시간을 곱한다.

[단계 4] 단계3의 값들을 합산한다. 이 합산값이 현재 교차로에 놓인 대기길이가 해제되는데 소요되는 요구시간이 된다.

[단계 5] 단계4의 요구시간에 황색시간을 더한 후, 교차로 교통상황이 비포화인 경우는 단계6으로 과포화1 이상의 상황인 경우 단계7로 진행한다.

[단계 6] 현재의 주기길리와 구해진 요구주기시간과의 차를 비교하여,

$$-\Delta C \leq (S_{RL} - CCL) \leq \Delta C \text{ 이면 } CL = CCL$$

$$(S_{RL} - CCL) \geq \Delta C \text{ 이면 } CL = CCL + \Delta D$$

$$(S_{RL} - CCL) \leq -\Delta C \text{ 이면 } CL = CCL - \Delta D$$

여기서 ΔC 및 주기증감분 ΔD 는 운영자가 조절할 수 있다. 그리고 단계8로 진행한다.

[단계 7] 현재의 주기길이(CCL)와 구해진 요구주기시간(RL)과의 차를 비교하여,

$$\Delta C \leq (S_{RL} - CCL) \leq \Delta C \text{ 이면 } CL = CCL$$

$(S_{RL} - CCL) \leq \Delta C$ 이면 $CL = CCL + \Delta D$ 로 설정되며, $(S_{RL} - CCL) \leq -\Delta C$ 이고 이전 8주기의 S_{RL} 의 증가한 횟수와 감소한 횟수, 그리고 이전주기를 그대로 사용한 횟수를 산출하여 증가한 횟수가 감소한 횟수보다 많을 경우 $CL = CCL$ 로 설정하여 이전주기를 그대로 사용하고, 작거나 같을 경우 $CL = CCL - \Delta D$ 로 설정하여 사용하게 된다. 여기에서 8주기를 택한 이유는 동일한 교통류 특성을 유지하는 최대시간(즉, 첨두15분 이내에서는 교통조건이 불변함)인 15분을 기준으로 하여 한 주기길이를 약 2분으로 가정하여 산정한다.

[단계 8] 최소주기 및 최대주기 조건인 $Min\ CL \leq CL \leq Max\ CL$ 을 만족시킨다.

3. 녹색시간 산정 알고리즘

가. 한산상황에서 과포화1의 녹색시간 산정방법

해당 접근로의 대기행렬길이의 비율에 따른 현시를 산정하여 지체시간을 최소화하는데 목표를 둔다.

[단계 1] 주기산정 알고리즘에서 구해진 주기길이를 받아 그 길이가 확장주기길이 보다 긴 경우 확장주기길이를, 그렇지 않을 경우 구해진 주기길이를 주기길이($CYCLE_LEN$)로 설정한

다.

[단계 2] 한 배리어(Barrier) 내에 포함되는 각 이동류의 요구시간 합을 이들의 요구시간 합으로 나눈다. 이 값에 주기길이를 곱한 값이 배리어에 요구되는 시간이 된다.

$$R_TIME1 = RL1 / [RL1 + RL2]$$

$$R_TIME2 = 1 - R_TIME1$$

$$Barrier1 = R_TIME1 \times CYCLE_LEN$$

$$Barrier2 = CYCLE_LEN - Barrier1$$

[단계 3] 최소 배리어 시간을 만족시킨다.

$$\text{Min Barrier1} \leq Barrier1$$

$$\text{Min Barrier2} \leq Barrier2$$

[단계 4] 각 배리어별 좌회전신호와 직진 신호요구시간을 계산한다.

[단계 5] 각 배리어별 해당 링(Ring)의 좌회전 및 직진시간을 계산한다.

나. 과포화2 상황에서의 녹색시간 산정방법

스토리지를 관리하여 스페일백 상황으로의 전개를 억제하는 것을 목적으로 녹색현시를 할당한다.

[단계 1] 각 접근로의 스토리지(S_i)를 구한다.

$$S_i = L_i - Q_i$$

여기서, L_i : 해당접근로의 링크길이

Q_i : 해당접근로상의 대기행렬길이

[단계 2] 각 접근로에 해당하는 K값을 구한다.

$$K_i = \frac{\sum_{i=1}^4 S_i}{S_i}$$

여기서, K_i 값은 아래와 같이 변형된 값이 사용될 수 있다. 이 변형된 식은 스토리지가 작고 링크길이가 긴 접근로에 더 많은 현시를 산정하여 줌으로서 각 접근로간 Cycle failure 수를 균등하게 하려는 시도에서 만들어 졌다. 즉 양방향 이용자들에게 공평한 신호시간의 배분에 역점을 두고 있다.

$$K_i = \frac{L_i}{S_i}$$

[단계 3] 한 배리어 내에 포함되는 각 이동류의 요구시간 합을 이들의 요구시간의 합으로 나눈다. 이 값에 주기길이를 곱한 값이 배리어에 요구되는 시간이 된다.

$$MAX_K1 = MAX[K1, K2]$$

$$MAX_K2 = MAX[K3, K4]$$

$$Barrier1 = \{MAX_K1 / [MAX_K1 + MAX_K2]\} \times CYCLE_LEN$$

$$Barrier2 = CYCLE_LEN - Barrier1$$

[단계 4] 최소 배리어시간을 만족시킨다. 한 배리어의 계산값이 최소 배리어값으로 설정하고 그 여분의 시간은 나머지 하나의 배리어값에서 제공된다.

$$\text{Min Barrier1} \leq \text{Barrier1}$$

$$\text{Min Barrier2} \leq \text{Barrier2}$$

[단계 5] 좌회전 포켓(Pocket)상에 놓인 차량수에 각각에 해당하는 차두시간을 곱하여 초기 좌회전시간으로 환산한다.

- 초기 좌회전 녹색시간 = (좌회전 포켓내의 대기길이 /AVL)* headway
- 초기 직진 녹색시간 = 해당 배리어값 - 초기 좌회전 녹색 시간

[단계 6] 초기 주기길이가 확장대기행렬길이 보다 클 경우 나머지 시간을 운영자에 의해 지정된 배리어에 할당한다.

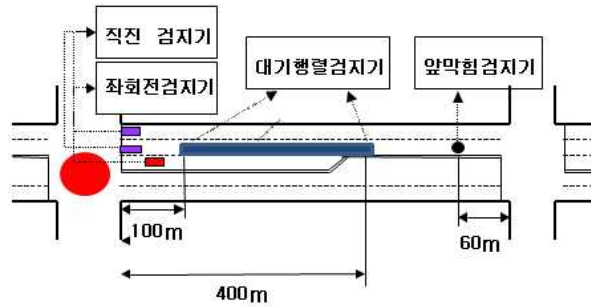
제3절 레이더검지기 실시간 검지체계 구상

1. 검지체계 개요

검지체계는 우선 우리나라에서 시행하고 있는 실시간 신호제어체계인 신신호시스템(일명;COSMOS)에 맞추어 구상하였다. 그러나 제2절에서 설명한 대기행렬 기반의 신호제어체계에도 대기행렬 검지영역을 정지선에서 접근로 전체로 확대하면 즉시 적용할 수 있다고 판단된다. 그리고 향후 영국의 SCAT이나 UTOPIA 등 다른 유형의 검지체계에도 유용하게 사용되리라 판단된다. 특히 현재 교통수요 기반의 실시간 신호제어체계에 적합한 검지기라고 사료된다. 검지기의 구성은 교차로의 종류(중요교차로, 준중요교차로, 비중요교차로)에 따라 달라지며 교차로의 기하구조나 교통특성에 따라 다르게 설치된다. 또한 검지기의 용도에 따라 설치되는 검지기의 규격도 달라지게 된다.

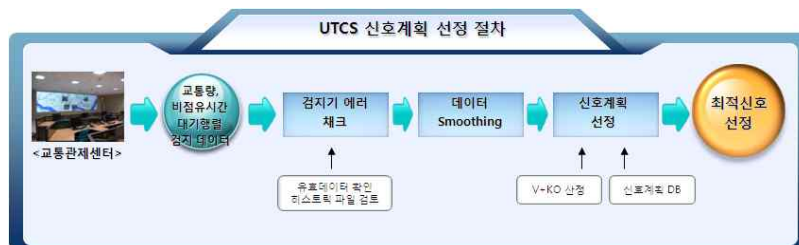
- 정지선 직진 검지기: 정지선 20cm이내에 설치하여 정지선에 차량이 존재하는지 여부를 검지
- 정지선 좌회전 검지기: 좌회전 포켓차로 12m지점에 설치하여 좌회전 포켓에 수요차량이 존재하는지 여부를 검지
- 대기행렬 검지기: 정지선으로부터 100m지점에 설치하여 접근로의 대기행렬의 길이가 얼마나 되는지 검지하여 녹색시간 산정에 사용할 목적으로 설치
- 스�필백(Spill-back) 검지기: 접근로 상류부 유입부 시작점으로부터 60m지점에 설치하여 상류부 교차로의 앞막힘을 유발하는 차량이 존재하는지 여부를 검지

<그림 24> 교차로 검지기의 구성



현재 도시부 신호제어체계에서 신호계획은 지역교통관제센터에서 관할하며 교차로 현장에서 교통량, 점유시간, 대기행렬 등의 검지데이터가 수집되면 검지기 에러체크를 통하여 유효한 데이터인가를 확인한 다음 데이터 평활화(Smoothing) 과정을 거쳐 신호계획을 하도록 되어있다.

<그림 25> UTCS 신호계획 선정 절차



2. 기능별 검지체계 구상

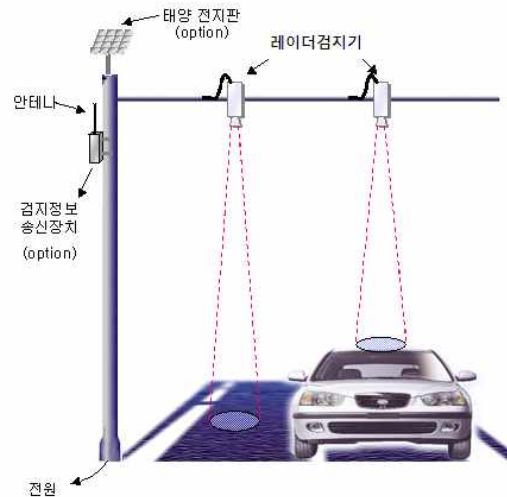
가. 정지선 검지기

정지선 검지기는 직진과 좌회전차로의 정지선에 설치되며 중요교차로의 경우 직진과 좌회전에 모두 설치되지만, 비중요교차로의 경우는 좌회전 차로에만 설치·운영된다. 수집자료는 직진과 좌회전차로의 경우 모두

교통량, 포화도, 점유/비점유시간이다. 자료의 용도는 직진의 경우 교통 대응 신호시간 계산, 직진포화도, 오정보 판단 등이며 좌회전의 경우 좌회전 감응제어, 좌회전 포화도, 오정보 판단 등이다.

정지선 검지기는 정지선 바로 위에 설치된 신호등 지주를 기본으로 이용하여 이 신호등 지주가 설치되어 있지 않으면 교차로 반대편 신호등을 이용하여 설치하며, 레이더검지기는 지주에서 정지선을 기준으로 정지선 루프검지기(1.8*4m)의 에플레이터 기능을 수행하도록 한다. 설치수량은 기본적으로 차로당 하나씩 설치하며 현장실험을 통한 검증이 된 이후에는 하나의 검지기로 복수차로를 검지하도록 설계한다. 검지원리는 차량이 존재할 때와 존재하지 않을 때의 거리측정자료의 차이로 차량존재 여부를 판별하며 녹색신호 시간에는 교통량과 점유/비점유시간도 산출한다.

<그림 26> 정지선 검지기 개념도



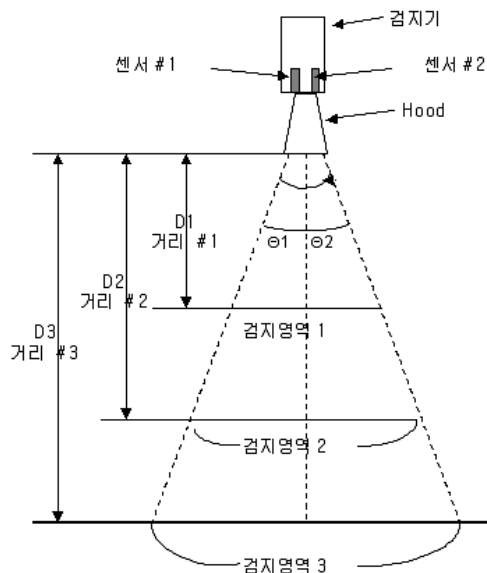
나. 대기행렬 검지기

대기행렬 검지기는 직진과 좌회전차로의 대기행렬(통상 직진차로:100

~400m, 좌회전차로:100~200m)에 설치되며 중요교차로의 경우에만 설치된다. 수집자료는 교통량, 지점속도, 점유/비점유시간이다. 자료의 용도는 지점속도, 대기행렬 예측, 검지기 Active 상태 판단 등이다.

대기행렬 검지기는 교차로 반대편 신호등 지주를 이용하여 설치하며, 지주에서 정지선을 기준으로 접근로의 길이에 따른 대기행렬 검지기 구간(통상 100~400m)의 대기행렬 자료수집 기능을 수행하도록 한다. 설치수량은 기본적으로 차로당 하나씩 설치하며 현장실험을 통한 검증이 된 이후에는 하나의 검지기로 복수안테나에 의한 복수차로를 검지하도록 설계한다. 검지원리는 거리측정자료의 시간적 차이에 의한 속도자료를 수집하며 접근중인 차량과 대기행렬에서 대기하는 차량의 구분은 현재속도, 정차지속시간, 앞뒤차량간 거리 등을 산출하여 구분기준에 의한 설정이 필요하다. 그러므로 추가로 구분기준 연구가 필요하다. 통상 고속도로에서는 주행과 정차의 구분을 5Km/h로 하지만 도시부 교차로의 접근속도에 대한 기준은 아직 연구된바 없는 것으로 생각된다.

<그림 27> 대기행렬 검지기 개념도

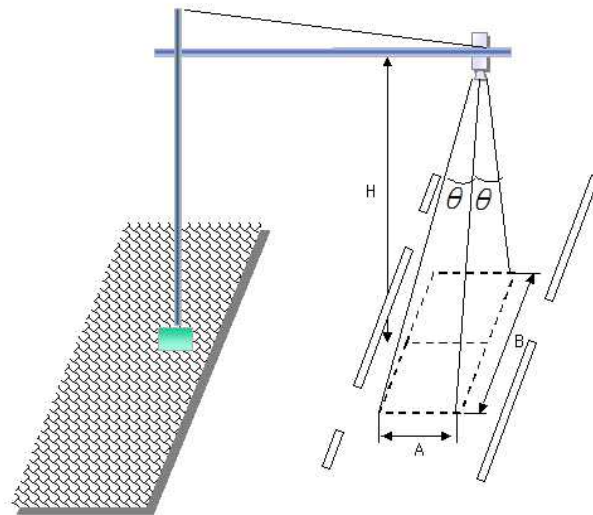


다. 스피백 검지기

스피백 검지기는 접근로 상류부 시작시점 기준으로 60m지점에 설치하며 중요교차로인 경우에 설치한다. 수집자료는 교통량과 점유시간이며 자료의 용도는 앞막힘 예방제어, 대기행렬 예측, 앞막힘 판단, 검지기 Active 상태 판단 등이다.

스피백 검지기는 상류부 인접 교차로의 인접 신호등 지주를 이용하며 레이더검지기는 스피백 루프검지기(1.8*1.8m)의 에플레이터 기능을 수행하도록 한다. 설치수량은 기본적으로 대표차로(Critical Lane) 하나를 선정하여 설치한다. 수집자료는 5초이상 정지한 차량을 대상으로 하며 이를 분석하기 위해 교통량과 점유시간 자료를 수집한다.

<그림 28> 레이더검지기
설치규격(정지선/스피백)



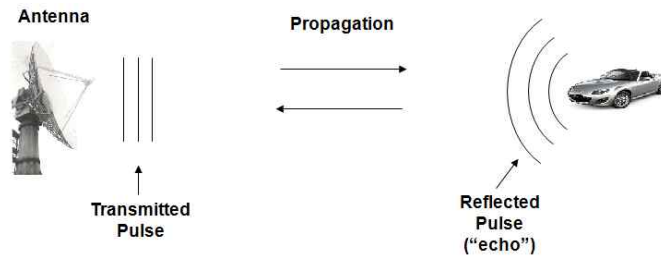
제4절 레이더검지기 적용 관련 기술

1. 레이더 기술

가. 기본원리

어레이 안테나에서 송출된 신호는 목표물(자동차) 또는 클러터(나무, 도로 등)에 의해 산란하며 에코신호들 중 안테나로 돌아오는 신호를 분석하여 정보를 알아낸다.

<그림 29> 레이더의 원리



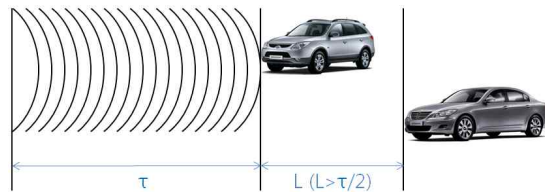
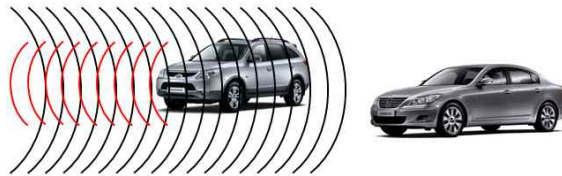
나. 거리 분해능(Range resolution)

동일한 방위에 근접한 두 표적을 두개의 표적으로 구분하기 위한 최소 분리거리가 필요하며 그 내용은 펄스폭(τ)의 1/2값에 전파속도(c)를 곱한 값과 같다.

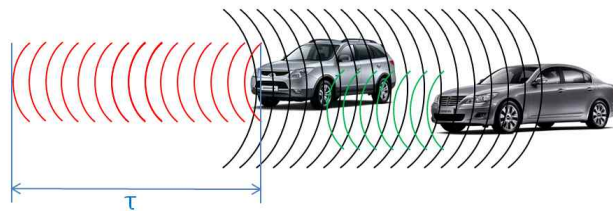
$$R_{res} = \frac{c\tau}{2}$$

두 표적간 거리가 R_{res} 보다 같거나 작을 경우에는 하나의 차량으로 인식할 수 있다.

<그림 30> 펄스가 1번 자동차에 도착

<그림 31> 펄스가 $2/\tau$ 만큼 이동

<그림 32> 1번, 2번 자동차의 에코펄스가 분리되어 전달



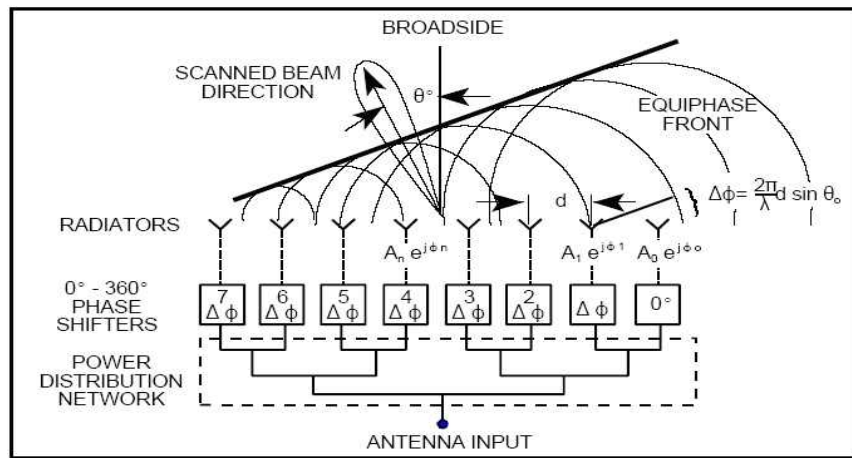
2. 위상배열 안테나 기술

위상배열 안테나의 목적은 원하는 도로 구간에 대한 차량흐름에 대한 교통상황을 스캔하기 위한 것이다.

위상배열 안테나의 원리를 설명하면 다음과 같다. 위상배열 안테나 기술은 위상을 제어해서 빔을 전자적으로 주사하는 안테나 기술이다. 안테나를 고정한 상태에서 방사 빔을 전자적으로 조절 할 수 있어 전파 빔을 기계적으로 회전시키는 것보다 성능이 향상된다. 빔의 모양과 방향을 제

어하기 위해 위상배열 원리를 이용한다. 즉, 두 개의 송신된 주파수가 위상이 같을 경우는 그것의 증폭이 2배가 되고, 위상이 다를 때는 서로 감쇄되어 버린다. 이처럼 위상배열 레이더는 각 송수신 복사소자에 보내지는 신호의 위상을 조절해 빔의 모양과 방향을 조절한다. 방사된 신호가 자동차에 맞고 산란되어 신호가 안테나로 수신되면 각각의 안테나 소자마다 가중치(w)가 곱해져 위상을 조절해 특정한 방향으로 조향된다.

<그림 33> 위상배열 안테나의 빔 조향 구성도



위의 그림과 같이 빔의 조향은 에너지가 원하는 방향에서는 합해지고 다른 방향에서는 제거되는 방식으로 배열 내에 있는 각 독립된 안테나 소자의 위상 변위를 상대적으로 다르게 함으로써 달성된다. 방사 빔을 θ 의 방향으로 방사시키고자 할 때 인접 요소간의 위상차와의 관계식은 다음과 같다.

$$\Phi = 2\pi(d/\lambda)\sin(\theta)$$

Φ =선형배열에서 두 인접 요소간의 위상차

d =두 인접 요소간의 거리(m)

λ =송신신호의 파장(m)

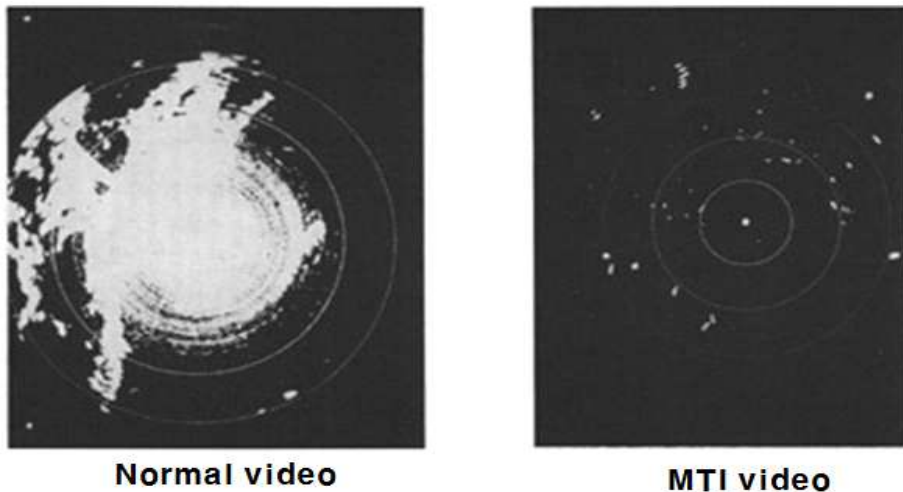
θ =배열의 수직 방향을 기준으로 한 상대적인 빔 조향 각도

10GHz로 빔을 방사를 하면 빔폭은 10° 정도 이며 빔을 $-60^\circ \sim 60^\circ$ 사이를 전자적으로 회전시킬 수 있기 때문에 2차선 이상의 도로를 커버하는 것이 가능하다. 빔이 탐지할 수 있는 거리도 설계에 따라 정지선 검지기, 대기행렬 검지기, 앞막힘(spill-back)검지기 등의 역할을 모두 수행할 수 있을 정도로 조정이 가능하다.

3. MTI(Moving Target Indicator) 기술

MTI의 목적은 움직이는 표적만을 탐지하는 것이다. 즉, 움직이는 표적 이외에 모든 성분(클러터)를 제거하여 움직이는 표적만 남기는 기술이다. 대표적인 MTI의 적용사례를 보면 아래 그림과 같이 MTI를 이용해 움직이는 표적의 위치를 파악하여 항공관측 및 통제에 이용하고 있다.

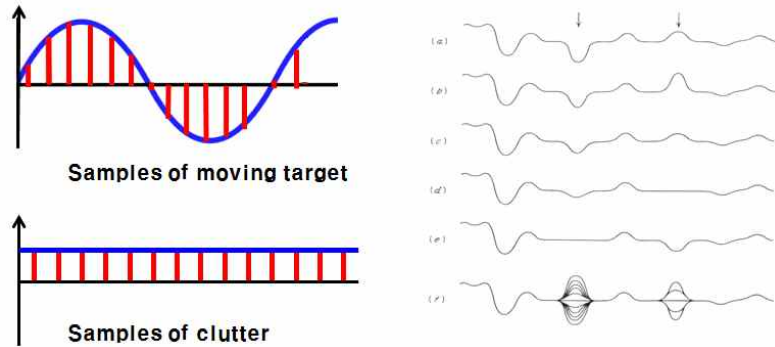
<그림 34> MTI 적용사례(적용전후의 결과)



MTI의 원리는 움직임이 거의 없거나 움직이지 않는 클러터의 에코신호

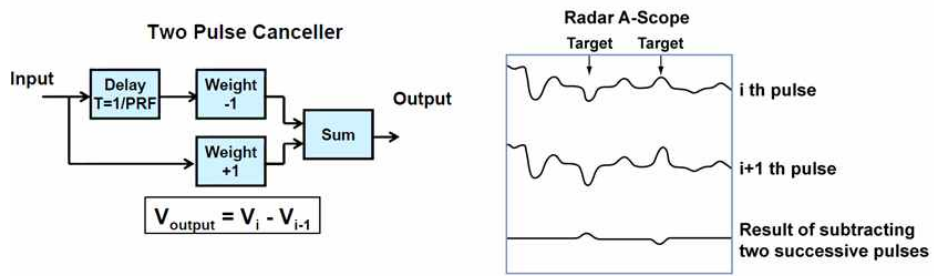
들 사이에는 위상차가 없으나 움직이는 표적의 에코신호들 사이에는 위상차가 발생(도플러 영향)한다는 원리를 이용한 기술이다.

<그림 35> 움직이는 표적과 클러터의 위상차이



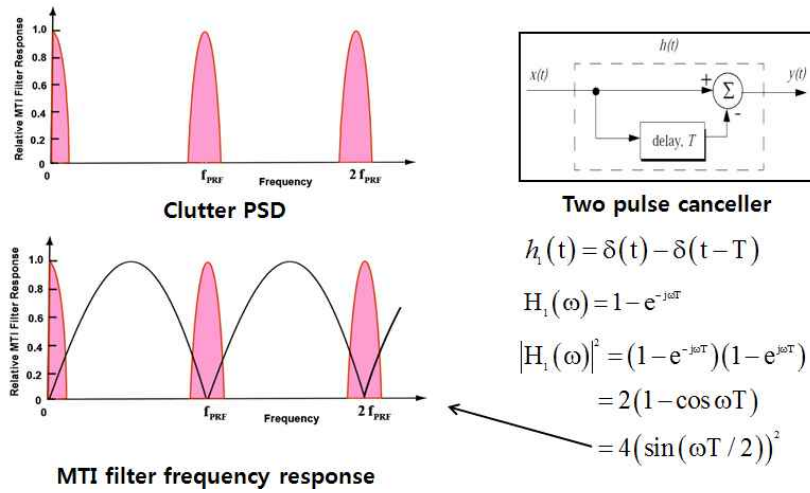
위상차가 있는 2~3개의 펄스의 차를 이용하여 움직이는 표적만을 탐지하는 기술이다.

<그림 36> 2개의 펄스를 이용한 MTI 시스템



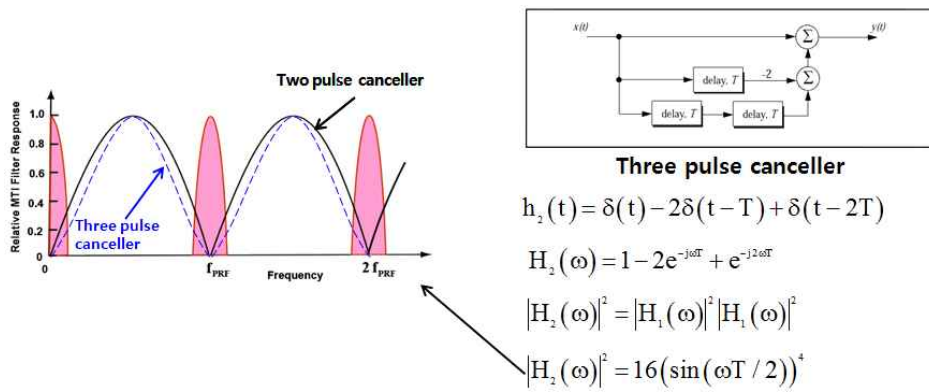
클러터 성분을 주파수 축에서 보면 샘플링 주파수(f_{PRF})의 N배의 위치에만 나타나는 점을 이용하여 필터 설계한다.

<그림 37> 2개의 펄스를 이용한 MTI 필터



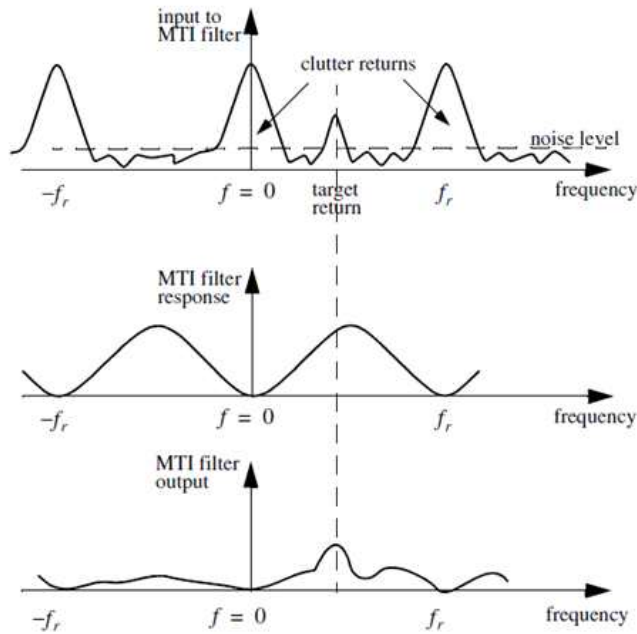
3개의 펄스를 이용할 경우 더 나은 성능을 보인다.

<그림 38> 3개의 펄스를 이용한 MTI 필터



MTI 필터를 통과한 결과,

<그림 39> MTI 필터 통과하여 클러터가 제거되는 과정



4. FMCW Radar 기술

FMCW(Frequency modulation continuous waveform) Radar의 목적은 검지기 위치에서 차량의 이동 속도와 거리를 검출하기 위한 것이다.

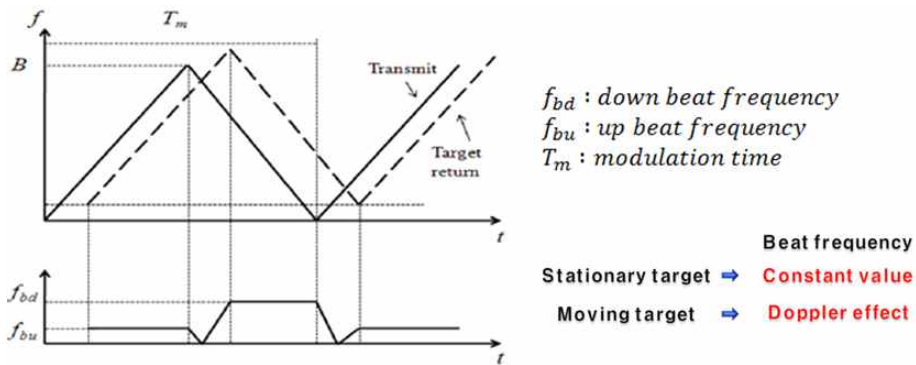
<그림 40> Application of FMCW Radar



위의 그림은 차량간의 거리와 속도를 검출하여 운전자에게 위험상황을 인지하도록 제공하는 FMCW Radar의 사례를 도식화한 것이다. 비교적 간단한 연산량으로 산정하여 서비스가 가능하다.

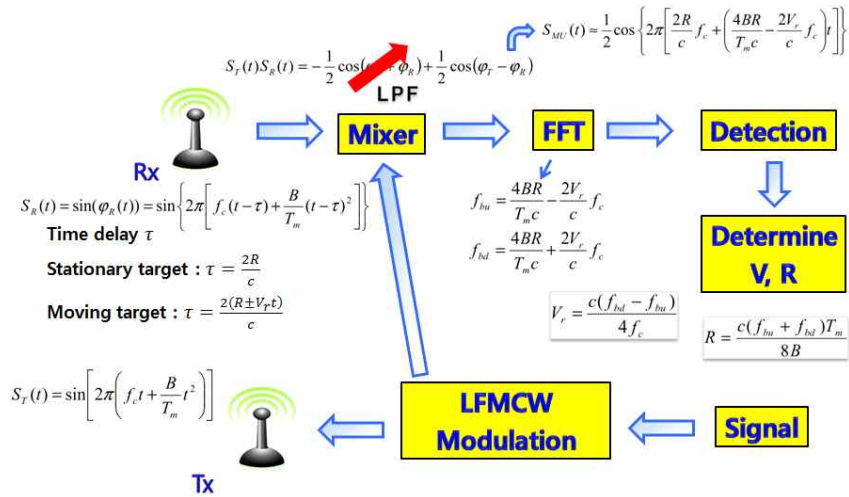
FMCW Radar의 원리는 Frequency 변복조 방식을 사용하며 송신신호는 시간에 따라 주파수가 높아지는 Up-chirp과 다시 주파수가 낮아지는 down-chirp 신호로 구성된다.

<그림 41> FMCW 송·수신 신호



송신신호는 차량에 맞고 차량의 RCS에 따라 반사되어 거리에 따른 타임 딜레이를 갖고 수신된다. 차량 이동시 수신신호에 도플러 shift가 발생하며, 송신신호와 수신신호의 주파수 차이로 인한 up beat frequency와 down beat frequency로 차량의 이동 유무, 검지기와의 거리, 그리고 차량속도의 검출이 가능하다.

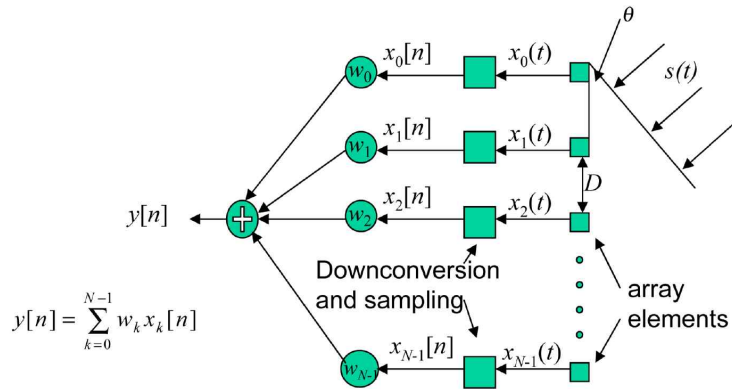
<그림 42> FMCW 신호처리 블록도



5. 빔포밍 테크닉(Beamforming Techniques)

빔포밍 테크닉(Beamforming Techniques)의 목적은 원하는 Direction of Arrival(DOA)에 관해 신호가 강하게 들어오도록 output power의 적절한 형태를 설계하기 위한 기술이다. 여러대의 차량을 구분할 수 있도록 신호의 분해능을 향상시켜 준다. 빔포밍 테크닉의 원리는 한 방향으로 array가 지향하고 있을 때 output power를 측정하는 방법이다. DOA signal과 지향하고 있는 방향이 일치할 때 output power는 최대가 된다.

<그림 43> 위상배열 안테나의 수신신호 블록도



- 최종 수신신호 : $y(t) = w^H x(t)$
- 총 수신 신호의 평균 power

$$P(w) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N |y(t_n)|^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N w^H x(t_n) x^H(t_n) w = w^H \widehat{R}_{xx} w$$

빔포밍 테크닉은 $P(w)$ 가 적절하도록 weighting vector w 를 디자인 (design)해야 한다. 디자인 방법은 Conventional Beamformer와 Capon's Beamformer의 두가지 방법이 있다.

가. Conventional Beamformer

- Uniform Linear Array of M elements
- $a(\theta)$: θ 를 지향하고 있는 steering vector
- 가중치 벡터

$$w = w_{CON} = \frac{a(\theta)}{\sqrt{a^H(\theta)a(\theta)}}$$

- Power

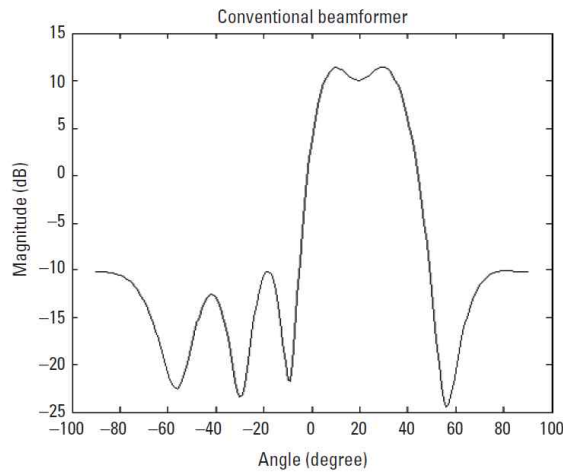
$$P(\theta) = P_{CON}(\theta) = \frac{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{R}_{xx} \mathbf{a}(\theta)}{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{a}(\theta)}$$

- Simulation

조건 : 6-elements ULA with omnidirectional array elements

2개의 동등한 power를 가진 uncorrelated signal(10°, 30°)

<그림 44> Conventional 2power uncorrelated signal



Conventional Beamformer의 장점은 구현하기 간단하다는 것이다. 반면, 단점은 최대치(peak)가 명확하지 않아서 impinging angle이 가깝다면 한 개로 오인할 수도 있다. 또한 신호(signal)가 여러 방향에서 들어올 경우 비효율적이며 sidelobe의 크기가 크다.

나. Capon's Beamformer

Capon's Beamformer는 beam을 look direction으로 형성하고 다른 신호들은 제거하기 위해서 다른 방향에는 널(null)을 주는 방식으로 위의 문제점을 해결한다.

- 가중치 벡터

$$\mathbf{w} = \mathbf{w}_{CAP} = \frac{\mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{a}(\theta)}{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{a}(\theta)} \quad \min P(\mathbf{w}) \text{ subject to } \mathbf{w}^H \mathbf{a}(\theta) = 1$$

- Power

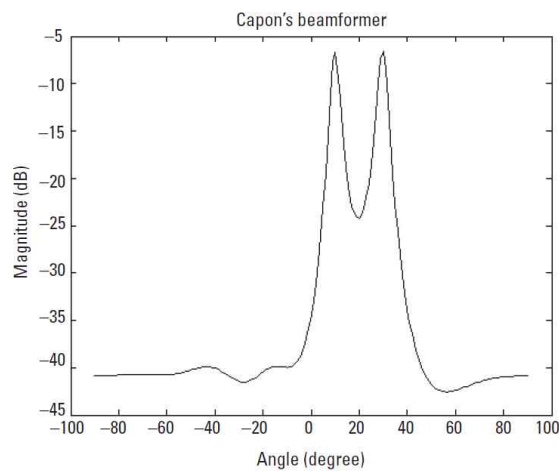
$$P(\theta) = P_{CAP} = \frac{1}{\mathbf{a}^H(\theta) \mathbf{R}_{xx}^{-1} \mathbf{a}(\theta)}$$

- Simulation

조건 : 6-elements ULA with omnidirectional array elements

2개의 동등한 power를 가진 uncorrelated signal(10°, 30°)

<그림 45> Capon's 2power uncorrelated signal



Capon's Beamformer의 장점은 좀 더 sharper해서 구분이 가능하고 다른 신호들로부터의 side peak 와 lobe가 감소한다는 점이다. 반면 단점으로는 large matrix의 역($\text{inverse}(\mathbf{R}_{xx}^{-1})$)을 구해야 하기 때문에 상대적으로 많은 연산시간과 비용이 요구된다는 점이다.

제5절 시뮬레이션 검증

1. 시뮬레이션 개요

실험실에서 이루어지는 Lab 시뮬레이션은 먼저 실험에 대한 가정을 설정한 다음 검지기 설치위치 및 설치방법과 기하구조를 설정한다. 시뮬레이션 내용은 크게 2가지로 교차로에 접근하는 차량의 방향추정과 개별차량의 거리, 그리고 접근속도이다. 접근로의 차로별 다중 지점에 대한 개별 차량의 속도와 거리를 측정하여 종합적인 분석을 통해 해당 접근로의 차로별 대기행렬을 추정할 수 있다.

가. 실험의 가정

레이더검지기도 영상검기기와 마찬가지로 기본적으로 검지기과 검지대상차량 간 직선상에 방해물이 없는 “Line of sight” 상태를 보장하여야 하지만 가로수 잎이나 눈, 비, 안개 등과 같은 투과성이 높은 방해물의 장애에는 큰 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 그리고 지형물의 장애가 발생한다고 할 지라도 필터를 통해 정지되어 있는 장애물은 제거가 가능하다.

- 지형물에 대한 정지해 있는 Clutter 성분들은 MTI filter를 통해 제거
- 레이더와 도로 사이의 시야를 가리지 않도록 Line of sight를 보장되도록 레이더 설치

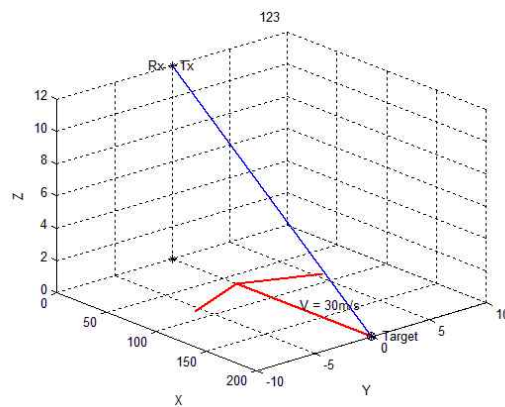
나. 검지기 설치방법 및 기하구조 구성

레이더검지기의 설치위치는 신호등 전주(Pole)이며 전원선과 통신선

은 교통신호제어기로부터 신호등 램프로 연결하여 사용한다. 신호등 지주의 높이는 통상 12m 규격으로 되어 있다. 레이더 센서는 입체(3D) 좌표상으로 (0, 0, 12m)으로 설정하여 신호등 램프 주변에 설치한다. 신호제어를 위한 도시부 교차로의 4방향 접근로에 대해 각각 200m를 제어범위로 가정하고 각 접근로당 차량속도를 초속 30m/s 이하로 설정한다. 그리고 레이더센서의 검지주기(Scanning Rate)는 10회/20ms로 설정하였다. 이를 3차원 도해로 나타내면 아래 그림과 같다.

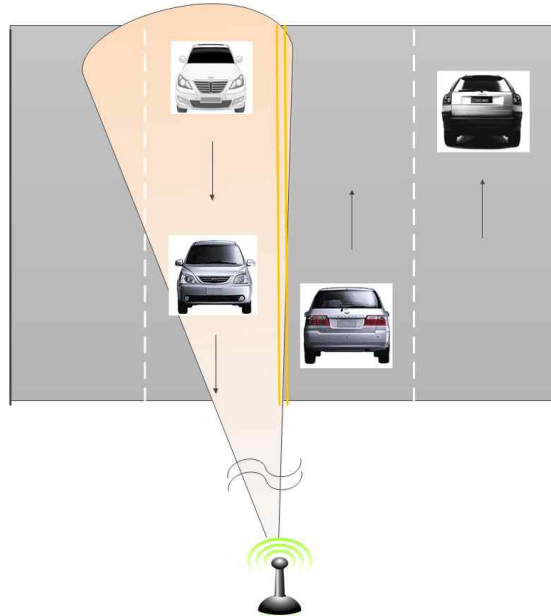
- 신호등이 12m (0, 0, 12m) 높이에 위치 신호등에 레이더를 설치
- 200m 떨어진 위치 (200m, 0, 0)에서 자동차가 30m/s의 속도로 신호등을 향하여 이동
- 레이더는 20ms동안 총 10회를 scan

<그림 46> 검지기 설치위치 및 차량검지기하구조



2. 차량의 진행방향 추정

<그림 47> 차량의 진행방향 추정 개념도



가. 실험의 구성

차량의 진행방향을 추정하는 것은 각 접근로의 검지대상차량을 파악하는 것으로 접근로의 대상차로에서 교차로 방향으로 움직이는 물체는 차량이므로 이를 정확히 구분해 내는지의 여부를 알아보기 위한 실험이다.

실험은 안테나를 10개의 엘리먼트로 구성하고 일차원 배열이므로 도로의 한쪽 차선 즉, 수직 방향으로만 조향한다고 가정하였다. 그러나 평면 어레이를 구성한다면 3차원 조향도 가능하다. 또한 레이더센서의 안테나 간의 간격은 $\lambda/2$ 로 배치하였다. 차량검지지점의 배치는 접근로 200m 구간 안에 4대의 차량이 일차원으로 (5° , 30° , 40° , 60°) 위치에 존재한다고 가정하였다.

- 10개의 elements로 ULA 위상 배열 안테나 구성
 - > 일차원 배열이므로 도로의 한쪽 차선 즉, 수직 방향으로만 조

향한다고 가정

-> 평면 어레이 구성할 시 3차원 조향가능

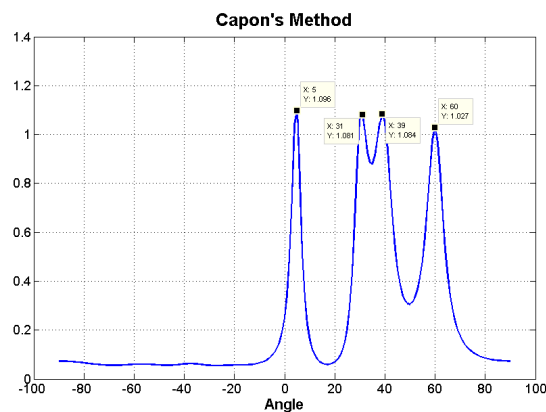
- 안테나간의 간격은 $\lambda/2$ 로 배치
- 4대의 차량이($5^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ$) 차로에 있다고 가정
- SNR이 0dB가 되도록 White Gaussian noise라고 가정

나. 실험의 결과

1) 접근로 차량 추정결과

시뮬레이션 결과 그래프에 나타난 파형중 최고점으로 파악되는 위치를 점으로 표현하여 X, Y좌표값으로 설정해 보면 $5^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ 에 위치하고 있는 차량을 레이더센서는 $5^\circ, 31^\circ, 39^\circ, 60^\circ$ 에 있다고 추정하여 판정하는 결과를 도출하였다. 4개 목표물 5° 와 60° 에 위치한 2개의 목표물은 정확하게 추정하고 있으며 나머지 $30^\circ, 40^\circ$ 에 대해 $\pm 1^\circ$ 의 오차를 보이고 있어 비교적 정확하게 차량을 추정하고 있다고 볼 수 있다.

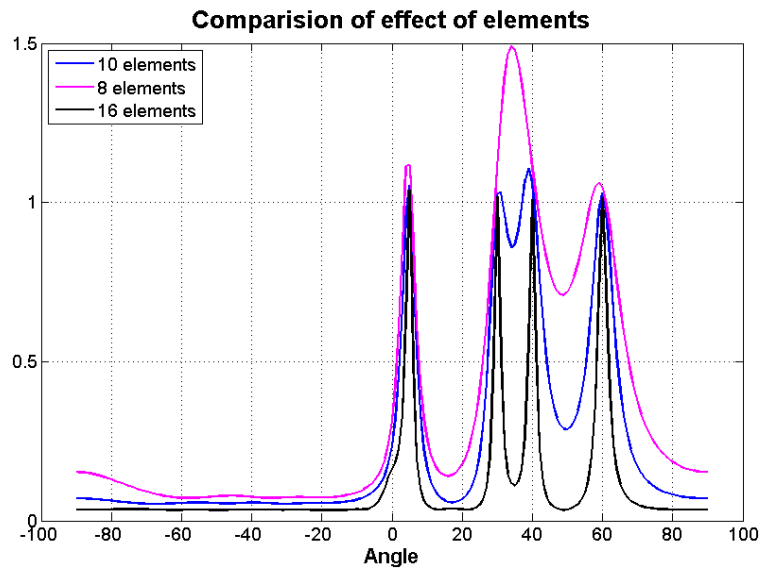
<그림 48> capon's method를 이용한
차량방향 추정결과



2) 안테나 개수에 따른 차량 추정 성능비교

설치되는 안테나의 개수에 대한 대상차량의 추정 성능을 비교한 결과는 8개의 안테나를 사용할 경우 분해능 성능저하로 30° , 40° 차량의 구분이 불가능하였다. 그래서 더 많은 안테나를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며 사용되는 안테나 개수를 증가시킬수록 차량의 방향 추정 성능이 향상되었다. 시뮬레이션에 적용된 안테나 개수는 8, 10, 16개로 적용하여 실험하였으며 10개의 안테나를 사용하였을 때는 30° , 40° 차량의 구분은 가능하였지만 명확하지는 않았다. 따라서 기하구조와 접근로의 환경에 따라 상황에 맞는 적절한 안테나 개수의 설정이 요구된다.

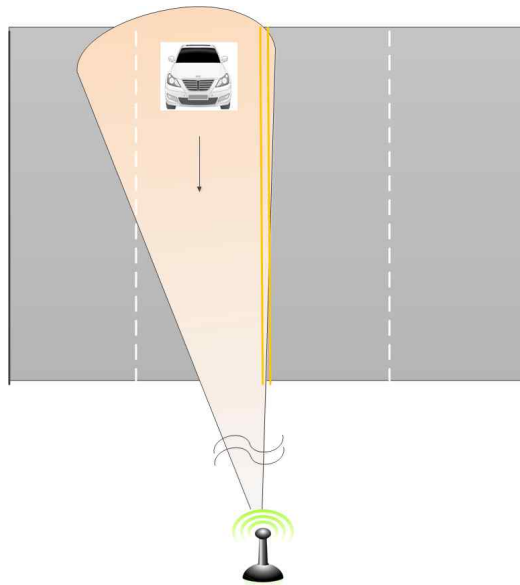
<그림 49> 안테나 개수별 차량신호 분해능 결과



3. 검지기와 차량 간 거리 및 속도 추정

검지기와 차량 간의 거리와 속도를 추정하는 것은 각 접근로의 검지대상 대기행렬의 길이와 차량의 접근속도를 파악함으로써 해당 교차로의 방향별 신호시간을 배분하고 접근로별 녹색시간을 결정하는 기본자료로 활용하기 위한 것이다. 이는 교차로 신호제어 시 필요한 전체주기의 산정과 그 안에서 산정되는 접근로별 신호시간 할당에 중요한 자료가 된다. 아래 그림은 이에 대한 레이더센서로부터 차량과의 거리 및 속도를 추정하는 개념을 설명하고 있다.

<그림 50> 거리 및 속도추정 개념도



가. 실험의 가정

레이더검지기도 영상검기기와 마찬가지로 기본적으로 검지기와 검지대상차량 간 직선상에 방해물이 없는 “Line of sight” 상태를 보장하여

야 하지만 가로수 잎이나 눈, 비, 안개 등과 같은 투과성이 높은 방해물의 장애에는 큰 영향을 받지 않는다는 장점이 있다. 그리고 지형물에 의한 장애가 발생한다고 해도 필터를 통해 정지되어 있는 장애물은 제거가 가능하다.

나. 실험의 구성

레이더센서와 차량 간의 거리를 추정하는 것은 각 접근로의 검지대상 차량의 대기행렬의 길이를 파악하는 것이다. 또한 접근차량의 속도를 파악하는 것은 대상접근로의 교통수요와 이에 따른 대기행렬을 형성하기 위해 소요되는 시간을 파악하기 위함이다. 따라서 본 실험은 대상접근로에서 대기행렬길이를 정확히 산정해 내는 지와 접근차량의 속도를 얼마나 정확히 측정해 내는지의 여부를 알아보기 위한 실험이다.

실험은 10개의 엘리먼트로 위상배열 안테나를 구성하고 안테나의 간격은 $\lambda/2$ 로 배치하였다. 그리고 검지간격은 1ms, 사용주파수는 24GHz, 주파수의 밴드위스(Bandwidth)는 300MHz로 배치하였다.

- 10개의 elements로 ULA 위상 배열 안테나 구성
- 안테나간의 간격은 $\lambda/2$ 로 배치
- Power가 1인 White Gaussian noise라고 가정
- Modulation time : 1ms
- Carrier frequency : 24GHz
- Bandwidth : 300MHz

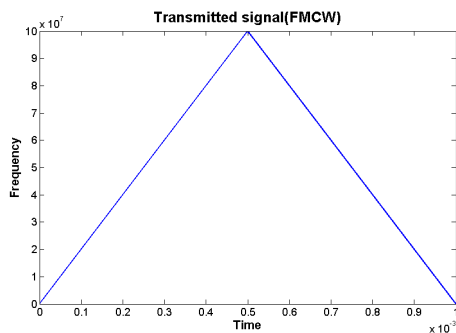
다. 실험의 결과

시뮬레이션 결과 접근로상의 레이더센서와 차량 간 실제거리와 추정거

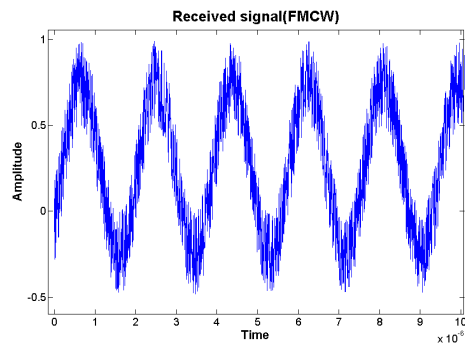
리는 실제거리 200.000m, 추정거리 200.173m로 오차는 0.173m가 발생하였으며 이를 %로 환산하면 약 0.08%의 오차가 발생하여 매우 우수한 거리 추정결과를 보였다. 또한 접근로상의 대상차량에 대한 속도 추정은 실제속도 30.000m/s, 추정속도 31.250m/s로 1.250m/s의 오차를 보였으며 %로 환산하면 약 4.1667%의 오차가 발생하였다.

- Up beat frequency : 5.389×10^5 Hz
- Down beat frequency : 5.299×10^5 Hz
- 실제 거리 : 200.000m
- 추정 거리 : 200.173m → 오차 : 0.173m (약 0.0865%)
- 실제 속도 : 30.000m/s
- 추정 속도 : 31.250m/s → 오차 : 1.250m/s (약 4.1667%)

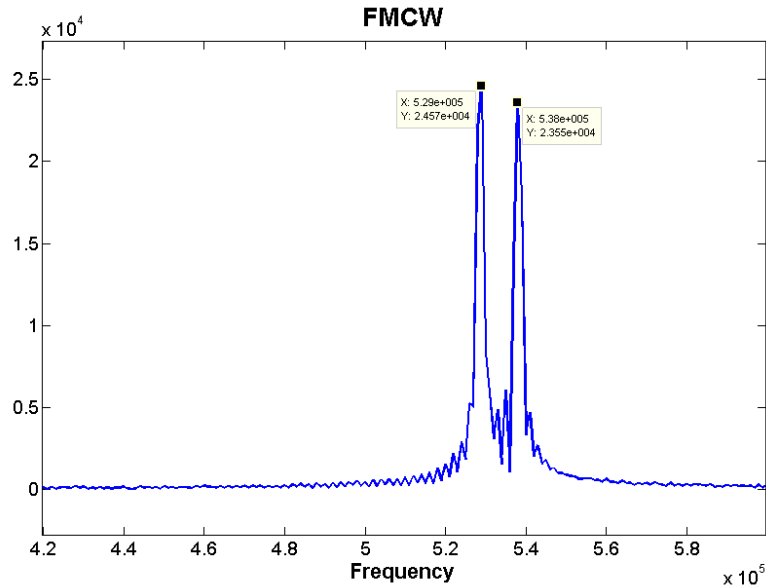
<그림 51> Transmitted signal(FMCW)



<그림 52> Received signal(FMCW)



<그림 53> 추정된 차량거리와 속도



라. 종합 분석 결과

본 연구에서 실험한 레이더센서의 시뮬레이션 결과는 크게 4가지로 정리할 수 있으며 그 내용은 다음과 같다. 레이더센서의 검지간격(Scanning Rate)은 1ms로 설정하여 사용할 수 있다. 레이더센서에 한하여 검지시간을 산정해 보면 1개의 접근로에 대하여 검지대상차로수를 1차로로 설정하고 차로 당 5개(정지선, 100m, 200m, 400m, -60m)의 검지포인트(Detection Point)를 설정하였을 때 5개의 검지포인트를 처리하기 위한 시간은 5msec이다. 이를 기초로 일반적인 4차선차로의 경우 각 방향별 접근로 당 2개 차로를 대상으로 하고 차로당 5개의 검지기를 설치한다면 한 접근로당 10msec이므로 4개 접근로는 40msec 정도의 시간 동안 대기행렬길이와 접근의 차량속도를 검지할 수 있다. 현재 루프검지기과 같이 검지간격이 20ms인 경우 4차선 총 20개의 검지 포인트를 하나의 레이더검지기 보드로 운영하는 것이 가능하다.

- signal duration: 1ms
- 검지 포인트 개수 : 차선 당 5개
- 2차선 도로 차량 검지기(정지선, 100m, 200m, 400m, -60m)
- 한차선 검지 포인트를 처리하기 위한 시간 : $1.0003\text{ms} \times 5$

제6절 보완성 검토

제안된 24GHz 주파수 대역(ISM band)의 보안성 검토결과는 다음과 같다.

1. 타 장비의 간섭 신호 검토

- 위상배열 안테나를 이용한 차량 검지 시스템의 송,수신 신호는 300MHz의 대역폭을 갖는 FMCW를 사용한다.
- FMCW 신호를 사용하는 장비가 없다면 주파수 간섭은 없을 것으로 예상된다. CW를 사용하는 장비에서 송신된 빔을 제안하는 시스템이 수신한 경우, correlation이 없으므로 간섭이 발생하지 않는다.
- 24GHz 차량용 레이더는 검지 거리가 짧고 (200m 이내) 송신 빔의 방향이 주행 방향에 평행하므로 차량 검지 시스템이 차량용 레이더의 송신빔을 수신하지 않을 것으로 판단된다.

2. 재밍 신호 검토

- 악의적으로 차량 검지 시스템의 기능을 저하시키기 위해 재밍 신호를 송출하는 경우 고려해야 한다.
- 제안 시스템은 주기적으로 수신모드에서 covariance matrix를 추정한다. 송출 신호가 없음에도 불구하고 특정 신호가 수신되면 재밍 신호로 간주하여 재밍 신호의 방향을 찾아낸 후, 해당 특정 방향에 대해 nulling 처리함으로써 재밍을 무효화 할 수 있다.

제5장 결론 및 정책제언

현재 경찰청은 실시간 신호제어시스템을 전국 도시부를 중심으로 운영 중이며 루프검지기에 의한 통과교통량을 기반으로 신호시간을 부여하고 있다. 그러나 직전 신호시간에 교차로를 통과한 교통량을 기준으로 신호시간을 부여하는 것은 궁극적으로 지나간 과거의 교통수요일 뿐 현재의 교통수요는 아니다. 따라서 현재의 교통수요에 대응하는 교통신호제어의 필요성이 대두되어 왔다.

본 연구는 위상 배열 안테나의 빔 조향방향을 달리하여 먼 거리의 교통흐름의 파악이 가능하다. 그리고 기존 COSMOS 방식인 도로의 정지선, 대기행렬(100m, 200m, 400m, 800m), 앞막힘 검지기(-60m)의 지점정보가 아닌 접근로 전체의 구간정보의 획득이 가능하다. 또한 도로 각 차선의 정확한 교통상황 정보 획득으로 차로별 차별화된 교통정보의 서비스를 제공할 수 있다.

연구결과 레이더검지기는 검지기와 차량간 거리산정에서 99.2%의 정확도를 보였고 속도산정의 정확도는 96% 를 나타냈다. 이는 대기행렬 길이 산정에 있어 매우 신뢰성 높은 정보를 산출할 수 있다는 가능성을 보여주는 결과라고 판단된다. 또한 제안한 레이더검지시스템을 이용함으로써 기존 도로망 지하에 설치된 복잡한 전원 및 신호 케이블 감소시킬 수 있고 현 사용하고 있는 방법보다 정확한 교통상황 정보를 얻을 수 있다.

기존 루프검지기 설치방법인 인도 및 도로 밑에 케이블라인으로 소통하는 유선통신방식에서 벗어나 무선통신 또는 짧은 거리의 가공유선통신을 이용함으로써 유지보수시 차로폐쇄나 전력손실 등 여러 가지 문제발생 시 대처가 수월하다.

그동안 대기행렬 기반의 실시간 신호제어시스템 개발이 영상검지기를 중심으로 연구되어 왔으나 검지환경의 변화에 대응력이 부족하여 연구단계에 머물러 있는 것이 현실이다. 이에 따라 루프검지기와 영상검지기의 한계를 극복하고 현재 교통수요에 대응할 수 있는 실시간 신호제어에 필요한 검지기의 발굴이 지속적으로 이루어져야 할 것이다. 레이더센서를 이용한 레이더검지기도 이런 차원에서 연구가 시작되었으며 본 연구를 통하여 그 가능성을 확인하였다. 향후 경찰청 차원의 구체적이고 체계적인 연구로 연결되어 우리나라 교통신호제어의 발전에 이바지할 수 있도록 정책적인 후속조치가 이루어지기를 바란다.

참고문헌

I. 국내문헌

- 은지혜, 영상검지기를 이용한 좌회전 감응식 신호제어전략 개발 및 평가, 아주대학교 대학원, 2010
- 김남선, 이승환, 오영태, 이철기, 강증식, 자기장을 이용한 루프검지기 자동진단시스템 개발, 대한교통학회지 제23권 제5호, 2005. 8.
- 이승환, 이철기, 실시간 교통신호제어를 위한 루프 검지기 체계 연구, 대한교통학회지 31, 1996
- 이철기 외, 영상검지기 기반 반감응 신호제어시스템의 성능평가 및 효과 분석 방법론에 관한 연구, 한국ITS학회논문지 11(1), 2012
- 정영제, 김영찬, 백현수, 구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제23권 제8호, 2005
- 정성대, 곽수진, 이상선, 적외선 전용 단거리 무선 통신(IR-DSRC)를 이용한 실시간 신호 제어 시스템 구성 방안, 한국ITS학회 2004년도 제3회 정기총회 및 추계학술대회, 2004
- 백현수, 무선통신 검지자료를 이용한 통행시간기반 신호제어 알고리즘 개발, 서울시립대학교 박사학위논문, 2007
- 홍원기, 심우석, 무선 센서 네트워크 기반의 차량 검지 시스템을 위한 교통신호제어 기법, 제어·로봇·시스템학회논문지 18(8), 2012
- 우광준, 류석경, 실시간 차량 검지를 위한 펄스 레이더 신호처리 알고리즘, 제어·로봇·시스템학회논문지 제12권 제4호, 2006

- 이철기, 오영태, 영상기반의 대기행렬길이를 이용한 최적주기 결정모형 개발, 대한교통학회지 제19권 제4호, 2001
- 이철기, 오영태, 대기길이 기반의 최적 신호제어 알고리즘 개발, 대한교통학회지 제20권 제2호, 2002
- 정기, 정재권, 김인석, 기존의 루프감지기와 호환성 있는 레이더 차량감지기, 한국전자기학회 논문지(The journal of Korea Electromagnetic Engineering Society), v.11 no.8, 2000
- 조우중, CCTV를 이용한 교통정보 수집 시스템의 구현, 2007
- 이대호, 실시간 교통정보 처리를 위한 지능형 영상검지기, 2001
- 이영로, 영상처리를 이용한 루프방식의 차량정보 추출 알고리즘에 관한 연구, 2005
- 이도현, U턴 차량을 고려한 좌회전 감응식 신호제어기법 개발, 2005
- 한국교통연구원, 일반국도의 신호운영 개선을 위한 연구, 2004
- 도로교통안전관리공단, 지역단위 실시간 교통신호제어체계 개발, 2002
- 건설교통부, 국도상의 신호교차로의 소통 및 안전기능 고도화를 위한 교통신호제어기기 개발, 2004
- 한국교통연구원, 반감응제어 신호기 설치사업 사업관리, 2005
- 석종수, 감응식 신호를 이용한 독립교차로 운영 효율화 방안, 인천발전연구원, 2004
- 이두선, 독립신호교차로에서의 완전 감응식 신호제어에 관한 연구, 2006
- 강민석, 일반국도의 주방향 소통개선을 위한 연동형 반감응 신호제어, 2008
- 배광수, 독립교차로 딜레마존 제거를 위한 교통감응신호제어 알고리즘

개발 및 평가, 2002

이용일, 감응식 신호제어상에서 딜레마 제어를 고려한 연동신호개발 및 적용, 2004

박순용, 지방부 독립신호교차로에서 감응식 신호제어에 관한 연구, 2004

정동우, 3지 교차로에서 반감응 신호제어와 보행자작동신호기를 이용한 지체시간 감소에 관한 분석, 2009

박창수 외, 차량속도별 영상검지기 성능 분석, 2005

배창호, 조평동, 차량 레이더 기술 동향과 기술기준 제정 방향에 대한 연구, 정보통신산업진흥원, 2005

II. 외국문헌

ROGER P.ROESS, TRAFFIC ENGINEERING 3rd edition, 2004

Highway Capacity Manual, Washington, DC: Transportation Research Board, National Research Council, 2000

James M. Giblin and Walter H. Kraft, Traffic Control Systems Operations-Installation, Management, and Maintenance. Washington DC, DC: Institute of Transportation Engineers, 2000

NEMA Standard, "TS 1" , 1989

James L. Pline, "Traffic Control Device Handbook", 2001. ITE

"Traffic Detector Handbook(second edition)", ITE, Institute of Transportation Engineers

William R. McShane, Roger P. Roess, Elena S. Prassas, "Traffic

Engineering", Prentice hall, 1998

Lawrence A. Klein, Placentia, California, "Sensor Technologies and Data Requirements for ITS", 2001. May

Ilsoo Yun, STOCHASTIC OPTIMIZATION METHOD FOR COORDINATED ACTUATED SIGNAL SYSTEMS, 2006

Technical Committee 18, Southern section ITE, "Large-Area Detection at Intersection Approaches", 1976

FHWA, Traffic Control Systems Handbook, 1976

Peter S. Parsonson. "Signalization of High-Speed, Isolated Intersections", TRR 681, 1978

Traffic Surveillance and Detection Technology Development: Phase 2 and 3 Test Results, Troy, Michigan, JPL Pub. D-15779(CA: California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory), 1998, CA

Traffic Signal Detector Loop Location Design Installation(Springfield, IL: Illinois Department of Transportation, District 6), 1988

H. Douglas Robertson, Manual of Transportation Engineering Studies. Institute of Transportation Engineers(Washington DC: Prentice-Hill), 1994

James L. Pline, Traffic Engineering Handbook, Washington DC: Institute of Transportation Engineers, 5th Edition, 1999

Ⅲ. 기타

[특허]배희숙, 복수개의 루프 검지기를 이용한 교통신호 제어시스템,
IPC 코드:G08G 1/09, 출원번호:1020030072526(2003.10.17), 등록번호
100446461(2004.08.20), 2004

<http://www.police.go.kr>

<http://www.renoae.com>

책임연구보고서 2012-13

레이더센서를 이용한
신호제어용 실시간 검지체계 개발

2012년 12월 31일 발행

발행인 : 조 요 섭

발행처 : **치안정책연구소**

경기도 용인시 기흥구 연남로 74

홈페이지 : www.psi.go.kr

이 책의 무단 복제를 금합니다.

이 책자에 게재된 내용은 연구자 개인의 의견이며
치안정책연구소 공식견해가 아님을 밝혀둡니다.



POLICE SCIENCE INSTITUTE