

# Neintrusivní dopravní detektory

Měření a zpracování dat (MDS)

Ondřej Příbyl

Ústav aplikované matematiky  
ČVUT v Praze, Fakulta dopravní



## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
  - Historie / Vlastnosti
  - Vlnění
- Technologie senzorů
  - Rozdělení
  - Popis
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

## Historie



"To Obtain Signal - Stop Blow Horn,"  
traffic-actuated signal light,  
Charles Adler, Jr. Collection,  
ca. 1920-1980



Traffic study tower on Gulf Freeway (US 75/TH 45)

## Obecné vlastnosti

### Neintrusivní detektory:

- Detektory které se instalují **bez zásahu** do vozovky
- Dají se snadno sejmout a přemístit
- Neničí vozovku – delší životnost
- Fungují bezdotykově, ve styku s měřeným objektem prostřednictvím **elektromagnetického** či **mechanického** vlnění

### Definice neintruivního detektoru

Dle anglického slova **non-intrusive**, měřená veličina je snímána detektorem instalovaným bez nutnosti zásahu do vozovky

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
  - Historie / Vlastnosti
  - Vlnění
- Technologie senzorů
  - Rozdělení
  - Popis
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

## Vlnění zprostředkující měření

### **Mechanické vlnění (zvuk)**

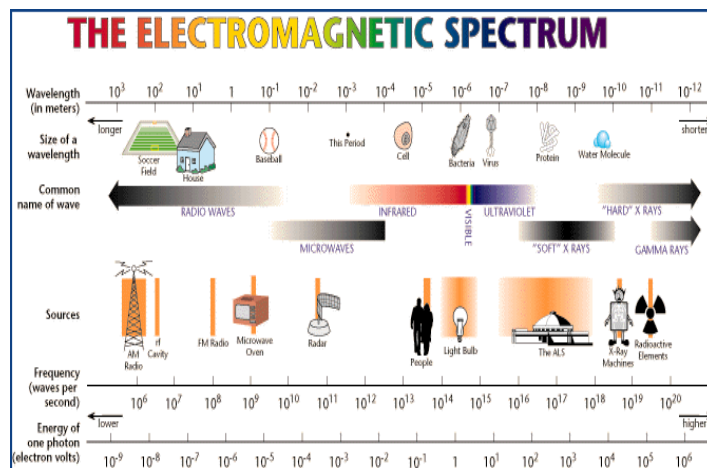
- potřebuje ke svému šíření médium
- médium: vzduch, voda, ...
- Frekvence:
  - Zvukové vlny: frekvence 100 Hz – 20 kHz
  - Ultrazvuk: frekvence 16 – 35 kHz

<https://www.youtube.com/watch?v=m4t7gTmBK3g>

## Vlnění zprostředkující měření

Elektromagnetické vlnění (vlna šířící se prostorem)

<https://www.youtube.com/watch?v=m4t7gTmBK3g>



Ondřej Příbýl K611MDS 4. přednáška

7

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
  - Historie / Vlastnosti
  - Vlnění
- Technologie senzorů
  - Rozdělení
  - Popis
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

Ondřej Příbýl K611MDS 4. přednáška

strana 8

## Diskuse

- Jaké znáte neintrusivní detektory?

## Technologie neintrusivních detektorů

rozdělení

### Technologie neintrusivních detektorů, rozdělení:

- Pasivní detektory hluku (zvuku)
- Ultrazvukové detektory
- Mikrovlnné radary
- Aktivní infračervené detektory
- Pasivní infračervené detektory
- Kombinované detektory
- Video-detekce (zpracování obrazu)
- Detektory ve vozidle

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
  - Pasivní detektory hluku (zvuku)
  - Ultrazvukové detektory
  - Mikrovlnné radary
  - Aktivní infračervené detektory
  - Pasivní infračervené detektory
  - Kombinované detektory
  - Video-detekce (zpracování obrazu)
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 11

## Pasivní detektory hluku

- Poloautomatický akustický detektor - historicky první detektor vozidel na světě

### Použití v současnosti

- Měří: přítomnost, průjezd a rychlost vozidla
- Detekují akustickou energii, či „hluk“ způsobený průjezdem vozidla.
- V současnosti: **2 rozměrné pole mikrofónů**
- Zvuk mimo detekční zónu je elektronicky / mechanicky potlačen



"To Obtain Signal - Stop Blow Horn,"  
traffic-actuated signal light,  
Charles Adler, Jr. Collection,  
ca. 1920-1980

Ondřej Příbyl

K611MDS

3. přednáška

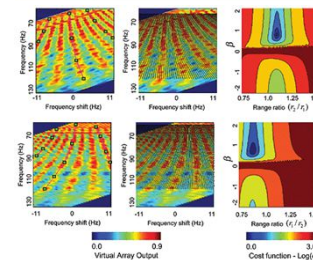
strana 12

## Pasivní detektory hluku

- Prostřednictvím matice mikrofónů a následného zpracování zvuku je možné odlišit různé detekční zóny.

### Princip:

- Měření časového rozdílu přicházející zvukové vlny mezi krajními částmi detektoru namířeného do detekční zóny. Časové rozdíly jsou:
  - V zóně: minimální
  - Přijíždějící do zóny: zkracující se
  - Odjíždějící ze zóny: prodlužující se
- Rychlost je odhadována pomocí SW algoritmu



Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 13

## Pasivní detektory hluku

### Pasivní zvukové detektory měří:

- Intenzitu, obsazenost dopravního proudu v jednotlivých jízdních pružích, rychlost průjezdu, klasifikace vozidel, přítomnost (speciálním čidlem)

### Výhody:

- Pasivní detekce
- Odolné vůči vlhkosti
- Možné měřit více jízdních pruhů

### Nevýhody:

- Nízké teploty snižují přesnost
- Není vhodný pro detekci v rychle se měnících dopravních podmínkách (stop and go traffic) - přizpůsobení algoritmu

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 14

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
  - Pasivní detektory hluku (zvuku)
  - **Ultrazvukové detektory**
  - Mikrovlnné radary
  - Aktivní infračervené detektory
  - Pasivní infračervené detektory
  - Kombinované detektory
  - Video-detekce (zpracování obrazu)
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 15

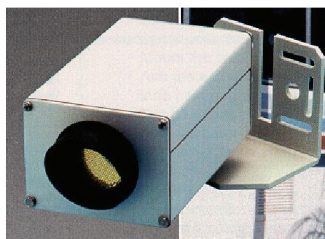
## Ultrazvukové detektory

princip

- Vysílají tlakové vlny zvukové energie
- Frekvence mezi 25 a 50 kHz (nad slyšitelným spektrem)

### Princip pulzních detektorů

- V pravidelných intervalech vyšle vlnu a měří čas (úměrný vzdálenosti) kdy se odražená vlna vrátí do detektoru, časový rozdíl jiný než odpovídá vzdálenosti k povrchu vozovky a zpět je vyhodnocen jako přítomnost vozidla.
- Měří velikost odražené energie a přemění ji na elektrickou energii



Ondřej Příbyl

K611MDS

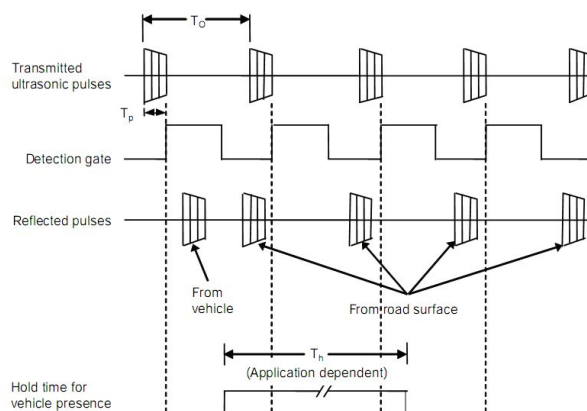
4. přednáška

16

## Ultrazvukové detektory

### Princip pulzního detektoru

- Vysílá sérii impulzů a měří čas do jejich návratu zpět. Okno kdy senzor přijímá odražený signál definuje výšku detekovatelného vozidla



Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

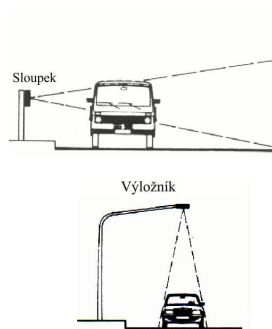
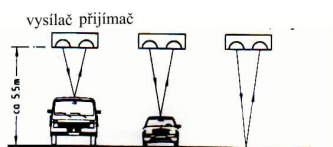
strana 17

## Ultrazvukové detektory

### použití

#### Pulzní detektory měří:

- Počet, přítomnost a obsazenost vozidel, rychlost (vysílá dva paprsky pod definovanými úhly), délku a výšku vozidel



Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

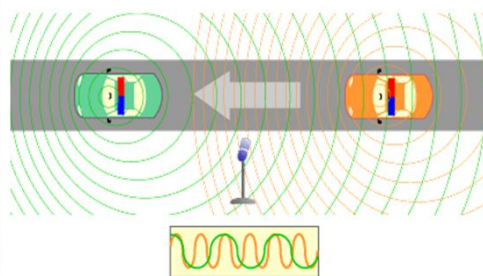
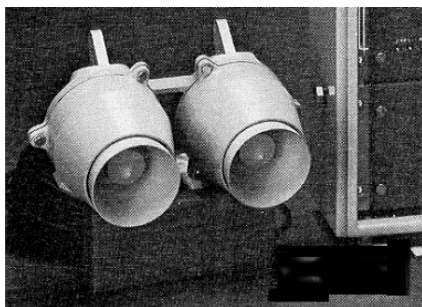
18

## Ultrazvukové detektory

### použití

#### Princip „spojitých“ detektorů

- Používají pro určení rychlosti projíždějícího vozidla Dopplerův efekt.
- 2 detektory – jeden pro vyslání a jeden pro příjem signálu, změna frekvence indikuje přítomnost vozidla a zároveň i jeho rychlost.



Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 19

## Ultrazvukové detektory

### výhody a nevýhody

#### Výhody

- Neintrusivní
- Umožňuje aplikaci na více j.p.

#### Nevýhody

- Změny teploty a extrémní poryvy větru mohou ovlivnit vlastnosti (některé modely kompenzují rozdíly teplot)
- Dlouhé intervaly mezi vyslanými signály mohou omezit přesnost měření obsazenosti pro vyšší rychlosti vozidel

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

20

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
  - Pasivní detektory hluku (zvuku)
  - Ultrazvukové detektory
  - **Mikrovlnné radary**
  - Aktivní infračervené detektory
  - Pasivní infračervené detektory
  - Kombinované detektory
  - Video-detekce (zpracování obrazu)
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

## Mikrovlnný RADAR

### historie

- Vyvinut pro detekci objektu za 2 světové války
- **Radiolokátor** neboli **radar** (anglický akronym pro **Radio Detecting And Ranging**) - je elektronický přístroj určený k identifikaci, zaměření a určení vzdálenosti objektů pomocí velmi krátkých elektromagnetických vln (centimetrových a decimetrových).

### Mikrovlny

- Vlnové délky - 1 až 30 cm
- Frekvence - **1GHz až 30GHz**
- Standardně 24,125GHz



## Mikrovlnný RADAR

Rozdělení radarů

### S pulzní vlnou (PW)

- Vysílá impuls stanovené délky ve stanovených intervalech
- Měří směr, vzdálenost, výšku, velikost objektu

### S nemodulovanou spojitou vlnou (CW)

- Vysílá signál o konstantní frekvenci a amplitudě
- Měří rychlost a počet vozidel

### S frekvenčně modulovanou spojitou vlnou (FMCW)

- Vysílá signál o proměnné frekvenci s konstantní amplitudou
- Měří rychlost, vzdálenost, velikost objektu (délku) počet, přítomnost a průjezd vozidla

Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

23

## Mikrovlnný RADAR

princip

### Princip (s pulzní vlnou):

- Jsou vysílány velmi krátké impulzy o velkém výkonu a v pauzách jsou přijímány odražené vlny.
- Vyslané vlny se při šíření prostorem mohou odrážet od objektů (cílů) nebo od rozhraní jednotlivých prostředí (oblačnost, rozhraní teplého a studeného vzduchu atd.).
- Vzdálenosti detekovaných předmětů jsou určovány pomocí časové korelace vyslaného a přijímaného signálu
- Úhel dopadu = úhel odrazu -> vlna musí dopadnout kolmo (nebo téměř kolmo v závislosti na vzdálenosti objektu a velikosti odrazové plochy) na sledovaný objekt aby byl její odraz zachycen radarem

Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

24

## Mikrovlnný RADAR

princip

### Princip (rozlišovací schopnost):

- Čím je anténa větší oproti vlnové délce vysílané energie, tím dokáže vyslat užší paprsek a obraz je přesnější
- O rozlišovací schopnosti v dálce pak rozhoduje délka / čas generování vf. energie vyslaného impulzu a způsob zpracování

### Princip (dosah):

- dán výkonem vysílače, intenzitou šířící se energie (dáno charakteristikami antény), velikostí efektivní odrazné plochy cíle, charakterem vysílaného signálu (parametry a zpracování), útlumem v prostředí a citlivostí přijímače

Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

25

## Mikrovlnný RADAR

princip

### Princip (dosah):

- Jednoznačný dosah vyplývá z frekvence opakování vysílání

### Princip (odraz):

- Úhel dopadu = úhel odrazu -> platí v případě že vlnová délka dopadající energie je dostatečně „malá“ oproti ploše na kterou dopadá.
- V opačném případě a pokud objekt je z vhodného materiálu (kov), dochází k odrazu díky rezonanci elmag. vlnění na takovém objektu a vlny se od něj odráží zpět i bez ohledu na úhel dopadu

Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

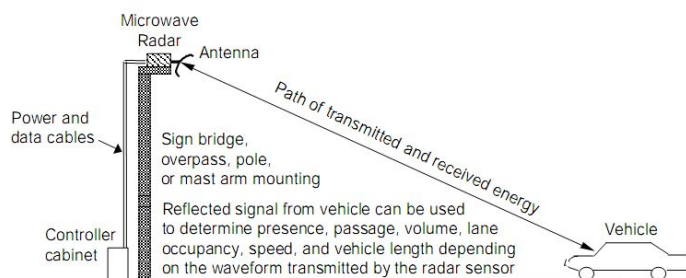
26

## Mikrovlnný radar

### instalace

#### Instalace:

- Na portále nad vozovkou: 5m - 7m vysoko
- Vedle vozovky: 1,7m – 3m vysoko
- Ve vozidle



Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

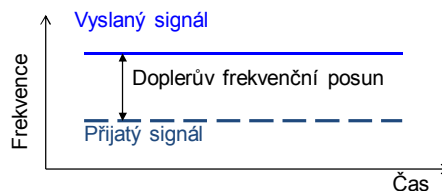
27

## Mikrovlnný RADAR

### Radar založený na principu CW

#### Radar založený na principu CW

- Vysílá signál konstantní frekvence
- Podle Dopplerova principu, pohyb vozidel způsobuje posuv ve frekvenci odraženého signálu
- Podle toho je možné detekovat projíždějící vozidla a určit jejich rychlost
- Nemohou detekovat stojící vozidla



Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

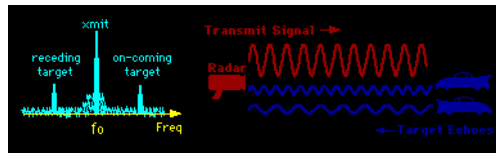
28

## Mikrovlnný RADAR

### Měření rychlosti

#### Měření rychlosti (CW):

- Využívá se Dopplerův jev, popisuje změnu frekvence a vlnové délky přijímaného oproti vysílanému signálu, způsobenou nenulovou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače.
- Jev byl poprvé popsán Christianem Dopplerem v roce 1842 v monografii *Über das farbige Licht der Doppelsterne und einige andere Gestirne des Himmels*.
- Jestliže pohyblivý zdroj vysílá signál s frekvencí  $f_0$ , pak stojící pozorovatel jej přijímá s frekvencí  $f$ :



$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}}$$

## Diskuze

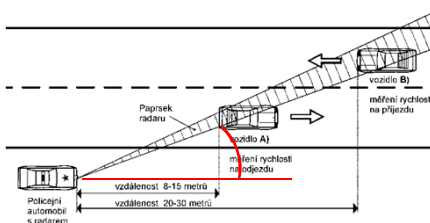
- Existuje nějaké omezení na umístění radaru?

## Mikrovlnný RADAR

Měření rychlosti – úhel měření

### Měření rychlosti – úhel měření:

- Radar nemůže být umístěn přímo v dráze vozidla
- Normální umístění radaru pro měření rychlosti bývá takové že s měřeným objektem svírá úhel přibližně 20 stupňů
- Korekce takového měření se nazývá **kosinový efekt** a určuje skutečnou rychlost vozidla  $V_{sk}$  vůči naměřené rychlosti vozidla  $V_m$  pod úhlem  $q$ .  $V_{sk} = V_m / q$



Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

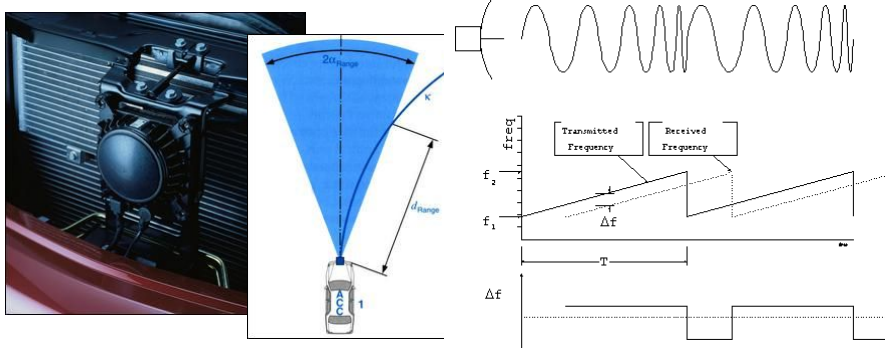
31

## Mikrovlnný radar

s frekvenčně modulovanými spojitými vlnami (FMCW)

### s frekvenčně modulovanými spojitými vlnami (FMCW)

- Rovnoměrně mění frekvenci
- Detekuje přítomnost vozidel, tudíž může detekovat stojící vozidla



Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

32

## Mikrovlnný radar

ukázky



Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 33

## Mikrovlnný radar

Výhody a nevýhody

### Výhody

- Necitlivý ke špatnému počasí
- Operace ve dne v noci
- Poskytuje přímé měření rychlosti
- Vhodný k použití na více jízdních pruzích

### Nevýhody

- Dopplerův senzor nedetekuje stojící vozidla
  - Při měření za jízdy musí existovat rozdíl v rychlostech
- Není vhodný pro sčítání vozidel
- Při instalaci na straně vozovky může docházet k blokování a tudíž k úniku některých vozidel

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

34

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
  - Pasivní detektory hluku (zvuku)
  - Ultrazvukové detektory
  - Mikrovlnné radary
  - **Aktivní infračervené detektory**
  - Pasivní infračervené detektory
  - Kombinované detektory
  - Video-detekce (zpracování obrazu)
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 35

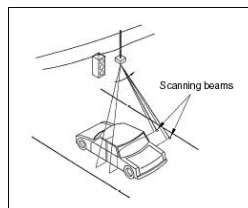
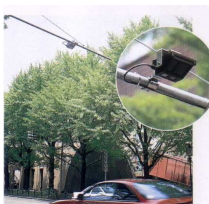
## Aktivní infračervené detektory

princip

- využívají záření o frekvenci řádově  $10^{13}$  Hz, vlnové délky  $10^{-5} - 10^{-6}$  m (*blízká infračervená (near infrared) oblast*  $\sim 0,85\mu\text{m}$ )
- oblast pokrývají zářením o nízkém výkonu, pomocí LED diod

### Princip:

- vysílají paprsek a **měří dobu**, za kterou se vrátí zpět odražený
- přijatou energii (ve formě záření) přeměňují na elektrický signál
- je možné měřit přítomnost vozidla, rychlost a délku vozidla



Ondřej Příbyl

K611MDS

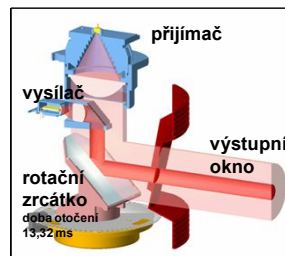
4. přednáška

strana 36

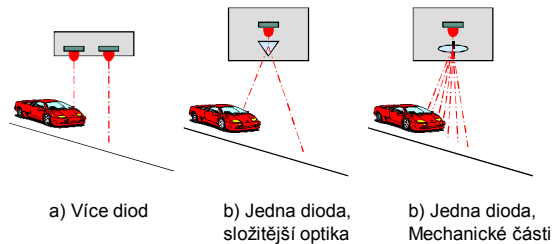
## Aktivní infračervené detektory

### princip

- Zařízení může vysílat i více paprsků
  - Více diod
  - Jedna dioda a složitá optika
  - Jedna dioda a rotující zrcadlo



■ vysílací paprsek  
■ přijímaný paprsek



Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

37

## Aktivní infračervené detektory

### LIDARy

**LIDAR** = Light-Imaging Detection and Ranging

- detekce světla a měření vzdálenosti
- zjišťování vzdálenosti a vlastností objektu probíhá na základě analýzy odraženého a rozptýleného světla laseru
- vzdálenost objektu se určí z časové prodlevy odraženého signálu



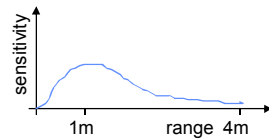
Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

strana 38

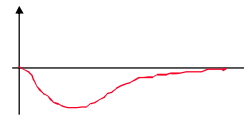
## Aktivní infračervené detektory

nelinearita

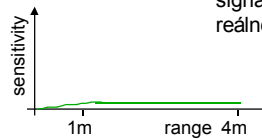
### • Korekce mlhy



Skenery do venkovního prostředí- Outdoor- vykazují při opticky nečistém prostředí zvýšenou citlivost okolo 1,3m



Podle křivky je citlivost upravována opozitním signálem, který je přičítán k reálnému signálu



Výsledná křivka citlivosti je téměř plochá. To zaručuje konstantní citlivost pro celou zaručenou vzdálenost detekce.

Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

39

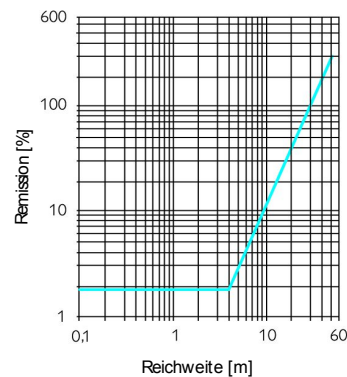
## Aktivní infračervené detektory

Odrazivost materiálů

- Odrazivost povrchu objektu rozhoduje o podílu odražené energie a vyslané energie sv. paprsku (odrazivost)
- na odrazivosti závisí dosah skenování LMS a je také uváděn pro min.10% odrazivosti

### KODAK standard:

| Material                   | Reflectivity |
|----------------------------|--------------|
| Cardboard, matt black      | 10%          |
| Cardboard, grey            | 20%          |
| Wood (raw pine, dirty)     | 40%          |
| Paper, matt white          | 80%          |
| Aluminium, anodised, black | 110...150%   |
| Steel, rust-free shiny     | 120...150%   |
| Steel, very shiny          | 140...200%   |
| Reflectors                 | > 2000%      |

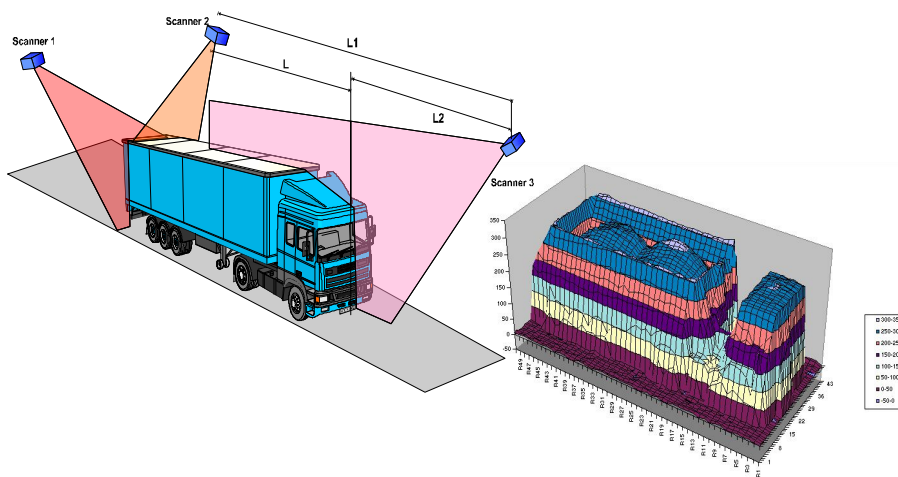


Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

40

## Aktivní infračervené detektory

aplikace



Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

41

## Aktivní infračervené detektory

Výhody a nevýhody

### Výhody

- Nedestruktivní
- Není ovlivněn počasím (den-noc)
- Provoz na více j.p.

### Nevýhody

- Kvalita je ovlivněna hustou mlhou a sněhovými vánicemi
- Při nevhodné instalaci může docházet k blokování vozidel

Ondřej Příbyl K611MDS 4. přednáška

42

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
  - Pasivní detektory hluku (zvuku)
  - Ultrazvukové detektory
  - Mikrovlnné radary
  - Aktivní infračervené detektory
  - **Pasivní infračervené detektory**
  - Kombinované detektory
  - Video-detekce (zpracování obrazu)
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 43

## Pasivní infračervené detektory

princip

- každý objekt, který nedosahuje teploty 0 K emituje tepelné záření, spektrum závisí na teplotě, velikosti i struktuře objektu
- pasivní detektory toto záření snímají -> slabé záření je nutná dobrá optika
- Funguje v *daleké infračervené (far infrared)* oblasti  $\sim 8-14\mu\text{m}$ 
  - Minimalizuje vliv slunečního světla, změny intenzity osvětlení apod.

**typ:**

- *zobrazovací* – používají jedno nebo více čidel, dovedou zobrazit přijímaný signál
- *nezobrazovací* – používají jedno nebo více čidel, nejsou schopny přeměnit přijímaný signál obrazový

Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 44

## Pasivní infračervené detektory

typ

### jednoduchý senzor

- měří rozdíly teplot (vozovka – vozidlo)

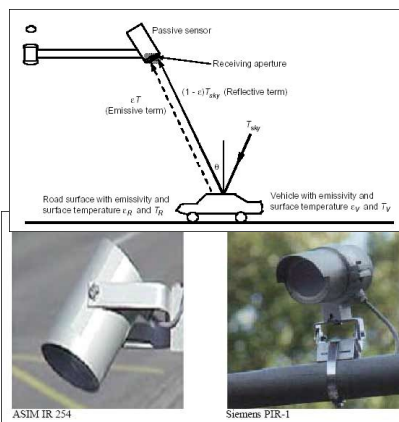
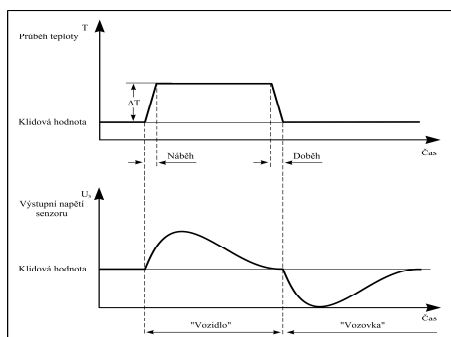
### dvojitý senzor

- dva senzory, každý zvlášť měří dopadající záření, porovnávají se
- Technické parametry:
  - kuželový vyhodnocovací prostor
  - je – li montován ve výšce 4 m, vzdálenost 8 m, úhel detekce 7°, měřicí pole šířky 1,5 m, délky 2,5 m
  - rychlost měřených objektů 3 – 150 km/h, mezera mezi vozidly větší než 0,5 s
  - délka výstupního impulsu 100 ms – 1 s

## Pasivní infračervené detektory

princip

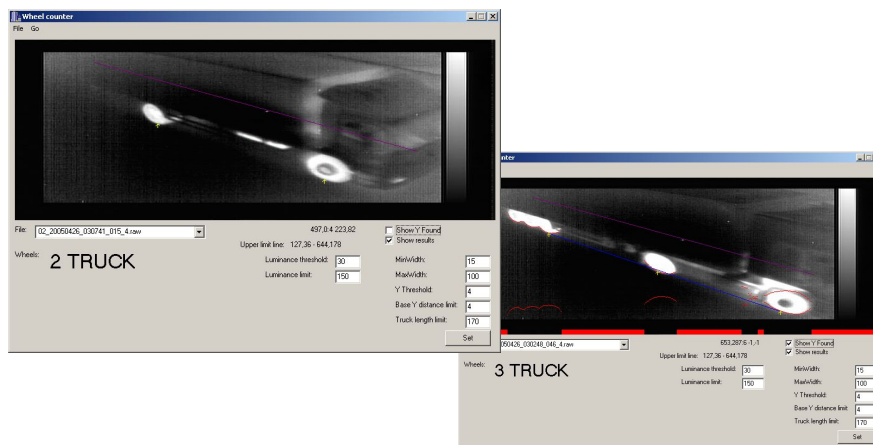
- Zaznamenaná se změna energie při průjezdu vozidla
- Signál je úměrný rozdílu emisivit a teplot mezi projíždějícím vozidlem a vozovkou



# Pasivní infračervené detektory

## aplikace

- Počítání os vozidel



# Pasivní infračervené detektory

## Výhody a nevýhody

### Výhody

- Neintrusivní
- Mohou měřit rychlost (při aplikaci s více zónami - multizone)
- Pracuje ve dne v noci

### Nevýhody

- Výkon je ovlivněn změnami teplot a výrazným prouděním vzduchu
- Jeden detektor je třeba na každý j.p.
- Složitá kalibrace

## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
  - Pasivní detektory hluku (zvuku)
  - Ultrazvukové detektory
  - Mikrovlnné radary
  - Aktivní infračervené detektory
  - Pasivní infračervené detektory
  - **Kombinované detektory**
  - Video-detekce (zpracování obrazu)
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

Ondřej Příbyl

K611MDS

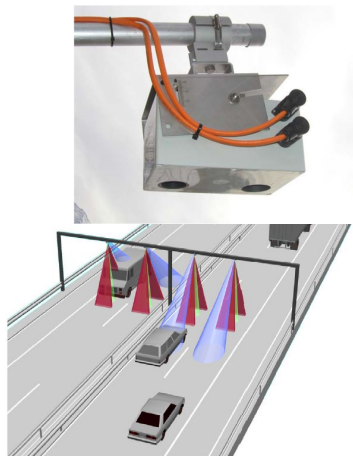
4. přednáška

strana 49

## Kombinované detektory

asim

- Detekce pomocí kombinace technologií mikrovln, ultrazvuku a pasivního infračerveného záření
  - Určení klasifikační třídy vozidla
  - Počet všech druhů vozidel
  - Zachycení rychlostí jednotlivých vozidel
  - Indikace přítomnosti vozidla a rozpoznání dopravní zácpy
  - Zachycení obsazení a časového odstupu vozidel



Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

50

## Kombinované detektory

### Specifikace

**Kombinace:** Mikrovlny + Ultrazvuk + Infračervené záření

- Dopplerův radar pásmo K 24.05 ... 24.25 GHz,
- Frekvence ultrazvuku 50 kHz, frekvence impulsů 10 ... 30 Hz
- IR senzory dynamické spektrální příjem 8 ... 14  $\mu\text{m}$

### Přesnost

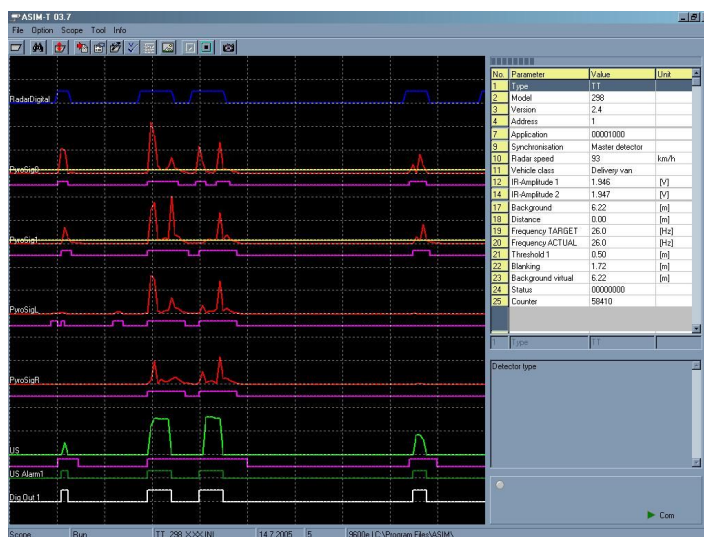
- počítání vozidel ticky  $\pm 3 \%$
- rychlost ticky  $\pm 3 \%$  ( $> 100 \text{ km/h}$ )

### Vlivy okolí

- provozní teplota  $-40^\circ\text{C}$  až  $+70^\circ\text{C}$
- vlhkost vzduchu maximálně 95% relativní vlhkosti vzduchu
- těsnost vodotěsný podle normy IP 64

## Kombinované detektory

asim



## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
  - Pasivní detektory hluku (zvuku)
  - Ultrazvukové detektory
  - Mikrovlnné radary
  - Aktivní infračervené detektory
  - Pasivní infračervené detektory
  - Kombinované detektory
  - Video-detekce (zpracování obrazu)
- Porovnání jednotlivých senzorů
- Závěr

## Video-detekce (zpracování obrazu)



## Video-detekce (classification)

- Shape based classification.
  - Image blob area, blob bounding box
  - Classification based on above info.
- Motion-based classification.
  - Human motion shows periodic property.
  - Time frequency analysis applied.
  - Residual flow taken under consideration.

## Video-detekce (classification)

- Model based detection
- Region based detection
- Active contour based detection
- Feature based detection

## Video-detekce (I)

- **Model based Tracking**

- The emphasis is on recovering trajectories and models with high accuracy for a small number of vehicles.
- The most serious weakness of this approach is the reliance on detailed geometric object models.

*Disadvantage*

- It is unrealistic to expect detailed models for all vehicles that could be found on the roadway



Ondřej Příbyl

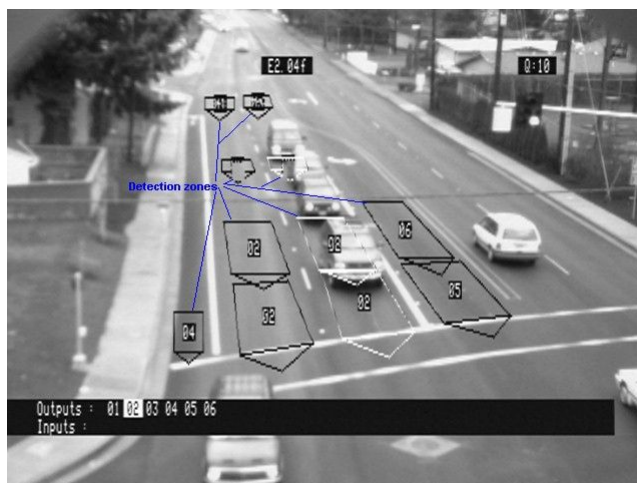
K611MDS

4. přednáška

strana 57

## Video-detekce (II – virtual loop)

Region based detection



Ondřej Příbyl

K611MDS

4. přednáška

strana 58

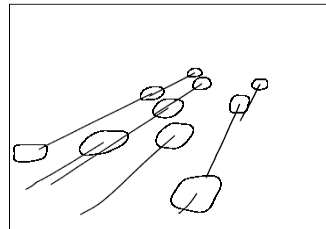
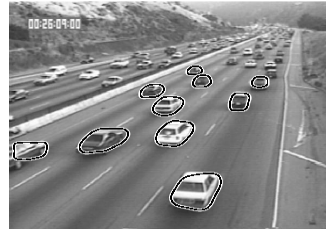
## Video-detekce (III)

- **Active contour based detection**

- Tracking is based on active contour models, or snakes.
- Representing object in bounding contour and keep updating it dynamically.
- It reduced computational complexity compared to the region based detection.

*Disadvantage:*

- The inability to segment vehicles that are partially occluded remains a problem.



Ondřej Příbyl

K611MDS

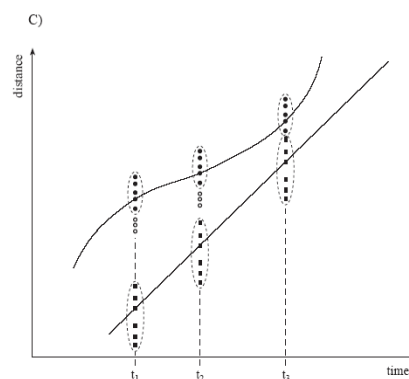
4. přednáška

strana 59

## Video-detekce (IV)

- **Feature based detection**

- Tracks sub-features such as distinguishable points or lines on the object
  - for example license plate
- Effectiveness improved by the addition of common motion constraint



Ondřej Příbyl

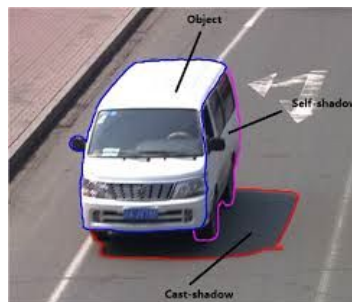
K611MDS

4. přednáška

strana 60

## Video-detekce (shrnutí)

- Výhody
  - Velká flexibilita
  - Rozmanitost využití
  - Možnost
- Limitace
  - Náročné na rychlost zpracování videa
  - Větší rozlišení přináší větší objem dat
  - Problém zpracování v reálném čase
  - Citlivé na povětrnostní podmínky
  - Části náchylné k poruchovosti v náročném prostředí



## Obsah přednášky

- Co jsou neintrusivní detektory?
- Technologie senzorů
- Porovnání jednotlivých senzorů
  - Silné a slabé stránky
  - Měřitelné parametry
  - Základní výhody a nevýhody jednotlivých technologií
  - Celkové shrnutí
- Závěr

## Silné a slabé stránky

- Silné stránky
  - Není nutný zásah do vozovky
  - Přesnost není ovlivněna změnami povrchu vozovky
  - Snadno se přizpůsobuje změnám podmínek (snadná reinstalace)
- Problémy
  - Vyžaduje dodatečnou infrastrukturu pro montáž (portál, sloup, ...)
  - Přesnost je značně ovlivněna výškou a úhlem umístění
  - Vibrace či problémy se stabilitou mohou ovlivnit výkon

## Měřitelné parametry

| Technologie      | Intenzita | Přítomnost | Rychlost | Obsazenost | Klasifikace | Více j.p. | Šířka pásma | Cena |
|------------------|-----------|------------|----------|------------|-------------|-----------|-------------|------|
| Indukční smyčky  | x         | x          | x*       | x          | x           |           |             |      |
| Magnetometr      | x         | x          | x*       | x          |             |           |             |      |
| Magnetický det.  | x         | x          | x*       | x          |             |           |             |      |
| Mikrovlnný radar | x         | x          | x        | x          | x           | x         |             |      |
| Aktivní IR       | x         | x          | x        | x          | x           | x         |             |      |
| Pasivní IR       | x         | x          | x        | x          |             |           |             |      |
| Ultrazvukový     | x         | x          |          | x          |             |           |             |      |
| Akustický        | x         | x          | x        | x          |             | x         |             |      |
| Video processing | x         | x          | x        | x          | x           | x         |             |      |

\* při použití dvou detektorů při definované vzdálenosti

## Porovnání technologií I

| Technologie             | Výhody                                                                                                                                                                                              | Nevýhody                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Indukční smyčky</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Standard</li> <li>• Vysoká přesnost počítání vozidel</li> <li>• Srozumitelná technologie</li> <li>• Některé modely umožňují klasifikaci vozidel</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Spolehlivost a životnost závisí na kvalitě instalace</li> <li>• Instalace a údržba vyžadují uzavření silnice, projekt, ...</li> <li>• Snižují životnost povrchu silnice</li> <li>• Možnost poničení nákladními vozidly, či při opravě silnice</li> <li>• Je třeba větší množství detektorů</li> </ul> |
| <b>Magnetický det.</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Použití na místech kam se nedají instalovat smyčky (mosty)</li> <li>• Není vždy třeba zásah do vozovky</li> </ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>• malá detekční zóna</li> <li>• zásah do vozovky, či pod vozovku (tunel)</li> <li>• Nedetekuje stojící vozidla</li> </ul>                                                                                                                                                                               |
| <b>Mikrovlnný radar</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nejsou ovlivněny počasím</li> <li>• Přímé měření rychlosti</li> </ul>                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nemohou detekovat stojící či pomalá vozidla</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                |

## Porovnání technologií II

| Technologie             | Výhody                                                                                                                      | Nevýhody                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mikrovlnný radar</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nejsou ovlivněny počasím</li> <li>• Přímé měření rychlosti</li> </ul>              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nemohou detekovat stojící či pomalá vozidla</li> </ul>                                                                                        |
| <b>Aktivní IR</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Přímé měření rychlosti</li> <li>• Klasifikuje vozidla</li> </ul>                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hustá mlha či hustý sníh snižují přesnost</li> <li>• Instalace a údržba vyžadují uzavírku silnice</li> </ul>                                  |
| <b>Pasivní IR</b>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Funkce ve dne i v noci</li> <li>• Detektory s více zónami měří rychlost</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hustá mlha, déšť, zatažená obloha či sníh snižuje přesnost</li> </ul>                                                                         |
| <b>Ultrazvukový</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Malé rozměry</li> <li>• Snadná instalace</li> </ul>                                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Změny teploty a významné porvy větru snižují přesnost</li> <li>• Malá frekvence vysílání pulsů snižuje přesnost měření obsazenosti</li> </ul> |

## Porovnání technologií III

| Technologie             | Výhody                                                                                                                                                                         | Nevýhody                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Akustický</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>Necitlivý k dešťovým srážkám</li> <li>jeden detektor slouží pro více j.p.</li> </ul>                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Nízké teploty snižují přesnost</li> <li>Některé modely nejsou vhodné pro pomalá vozidla</li> </ul>                                                                                                                              |
| <b>Video processing</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Jedna kamera může sloužit pro více j.p.</li> <li>Mnoho různých dopravních dat</li> <li>Snadné přidání dalších detekčních zón</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Velká vozidla mohou stínit malá vozidla</li> <li>Problém se stíny, odrazy, vibracemi kamery, nečistotami na objektivu, přechodem mezi nocí a dnem apod.</li> <li>Instalace a údržba mohou vyžadovat uzavírku silnice</li> </ul> |

## Porovnání detektorů – ještě jednou

| Detector Technology | Life-Cycle Cost | Detection Accuracy |             | Failure Rate | Speed Accuracy | Incident Detection | Classification Accuracy | Mounting |           | Maintenance Requirements | Directional Detection | Effect of Weather |
|---------------------|-----------------|--------------------|-------------|--------------|----------------|--------------------|-------------------------|----------|-----------|--------------------------|-----------------------|-------------------|
|                     |                 | Low Volume         | High Volume |              |                |                    |                         | Overhead | Side-fire |                          |                       |                   |
| Inductive loops     | C               | A                  | A           | C            | B              | B                  | B                       | D        | D         | C                        | B                     | A                 |
| active infrared     | C               | A                  | A           | U            | B              | B                  | A                       | A        | D         | A                        | D                     | B                 |
| Passive infrared    | A               | A                  | B           | U            | D              | D                  | D                       | A        | A         | A                        | D                     | A                 |
| Radar               | A               | A                  | A           | U            | A/B*           | B                  | B                       | A        | A         | A                        | D                     | A                 |
| Doppler microwave   | A               | A                  | B           | U            | A              | A                  | D                       | A        | C         | B                        | B                     | A                 |
| Passive acoustic    | B               | B                  | B           | U            | C              | C                  | C                       | A        | B         | A                        | D                     | C                 |
| pulse ultrasonic    | A               | A                  | A           | U            | D              | D                  | D                       | A        | B         | U                        | D                     | U                 |
| video – tripwire    | B               | A                  | A           | B            | C              | C                  | C                       | B        | B         | B                        | B                     | C                 |
| video – tracking    | B               | A                  | A           | B            | B              | B                  | C                       | B        | B         | B                        | B                     | C                 |

## Zdroje a literatura

### Odkazy

- [http://www.texasfreeway.com/Houston/historic/photos/houston\\_historic\\_photos.shtml](http://www.texasfreeway.com/Houston/historic/photos/houston_historic_photos.shtml)
- [http://www.its.dot.gov/jpodocs/reports/14318\\_files/apms3.htm](http://www.its.dot.gov/jpodocs/reports/14318_files/apms3.htm)
- <http://www.dself.dsl.pipex.com/museum/COMMS/ear/ear.htm>
- <http://www.tfhrc.gov/its/pubs/06108/index.htm>
- <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/operations/its/06108/02a.cfm>