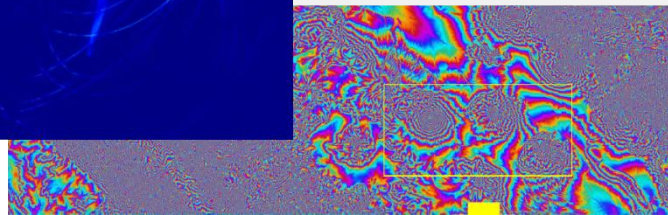
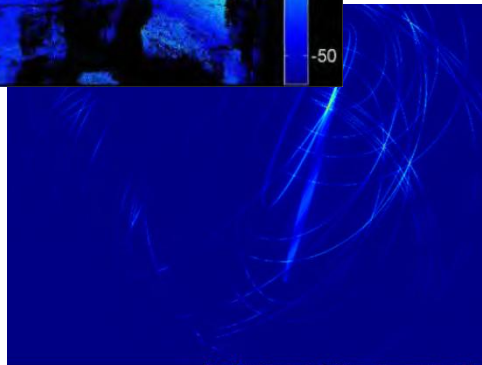
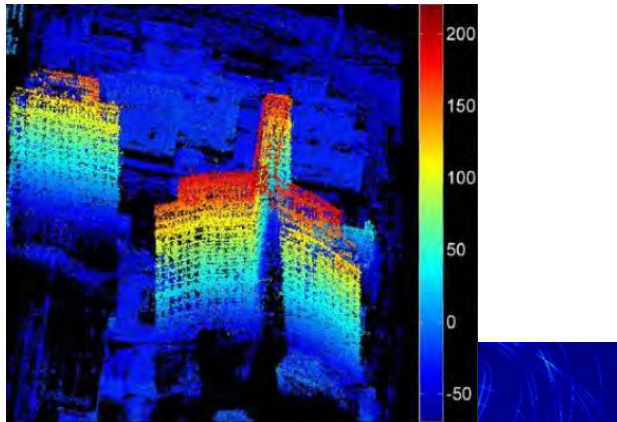




**Puolustusvoimien tutkimuslaitos**

Tiedolla tulevaisuuteen

# ***Tulevaisuuden radiotaajuiset sensoritekniikat***



MATINEn turvallisuusmatinea  
**"DIGITAALISUUS MULLISTAA MAANPUOLUSTUSTA "**

8.5.2018

TkT Jukka Ruoskanen  
PVTUTKL



**Puolustusvoimat**

Försvarsmakten • The Finnish Defence Forces



# Perinteinen valvontasensori



Wikimedia Commons



Kuva: Sotamuseo





# Nykyään...

Yksipaikkapulssitutka on hyvin tunnettu tutkakonsepti ja se suoriutuu tehtävästään rauhan aikana

Sotilaskäytössä yksipaikkapulssitutkan dominoiva asema kuitenkin heikkenee, koska

kriisitilanteessa vastustajan tilannetietoisuutta halutaan heikentää, ja tiedetään, että

nykymuotoinen valvontatutka voidaan havaita kaukaa

voimakastehoista tutkaa vastaan voidaan helposti kohdentaa vastatoimia (havaitaan, tunnistetaan, häiritään, väistetään, tuhotaan)

→ **Tutkan käytettävyys kriisitilanteessa vaarantuu**







# Tulevaisuuden vaatimuksia

Toimintaympäristötietoisuus  
Taistelunkesto  
Maalittamiskyky

Matalalla, korkealla, urbaanissa ympäristössä, kaikkina vuodenaikoina, ym.

- Maaliympäristön muutosten ja taistelunkestävyyden haasteisiin voidaan yrittää vastata esim.
  - sensorin adaptiivisuutta lisäämällä
  - diversiteettejä hyödyntämällä
  - liikkuvuutta lisäämällä
  - datan tarkoituksenmukaisella ja oikea-aikaisella hyödyntämisellä (sanottakoon tätä datafuusioksi) → AI, koneoppimisen algoritmit etc. johtavat kohti kognitiivisia toiminnallisuuksia (tyvestä puuhun)
  - erilaisia sensoriratkaisuja koko tilavuuden kattamiseksi (korkeussuunnan haasteet, katvealueet)





# Tulevaisuuden vaatimuksia

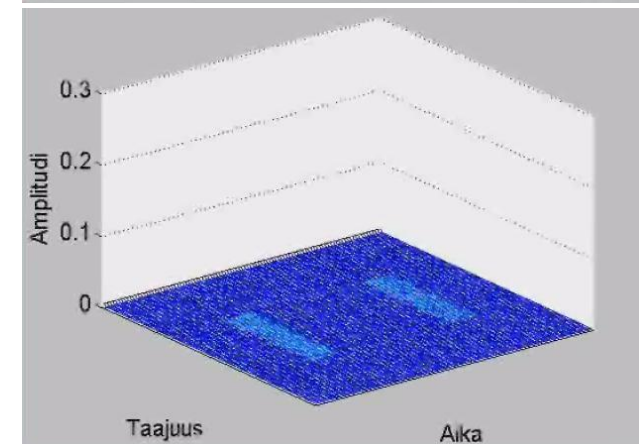
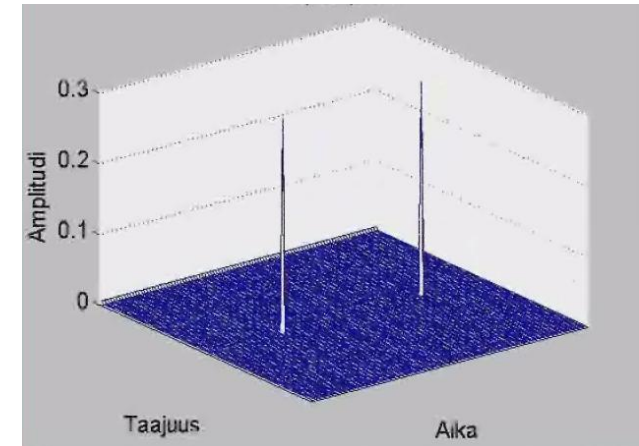
- Sensorien tulisi kyetä useisiin toiminnallisuuksiin
  - tutkimittaus, signaalitiedustelu, tietoliikenne, datan prosessointi etc.
- Sensorien tulisi kyetä mukautumaan ketterästi
  - tehtävän, tilanteen, sääolosuhteiden etc. mukaisesti
- Kannettavien tai pienille alustoille asennettavien sensorien datansiirto on mimimoitava (tiedusteltavuus, kaistavaatimukset)
- On mahdollista operoimaan spektrissä muiden toimijoiden seassa
  - Adaptiivinen spektrin käyttö
  - Tutka-aaltomuoto voidaan hajauttaa ajassa, tilassa, taajuudessa (ei häiritä muita + LPI + mahd. resoluution parannukset)





# Tutkan aaltomuodon muokkaus

- Signaalitiedustelun vaikeuttamiseksi pienennetään tutkan lähetteen huipputehoa
- Luovutaan voimakkaasta keskitetystä energiapaketista ja valitaan sellainen lähetyisaaltomuoto, joka hajauttaa lähetyksessä käytettävän energian; palaava energia voidaan jälleen tiivistää vastaanottimessa
- Tutkan kantama pysyy ennallaan, koska sen lähettämä kokonaisenergia säilyy
- Miten tämä voidaan toteuttaa:
  - Jaetaan teho usealle taajuudelle ts. kasvatetaan kaistanleveyttä (häiriönsietoisuus, etäisyserottelu)
  - Kasvatetaan pulssisuhdetta, jolloin teho jakaantuu aika-akselilla (nopeuserottelu)
  - Teho voidaan jakaa vielä kahden polarisaation kesken (lisää informaatiota maalien luokitteluun)

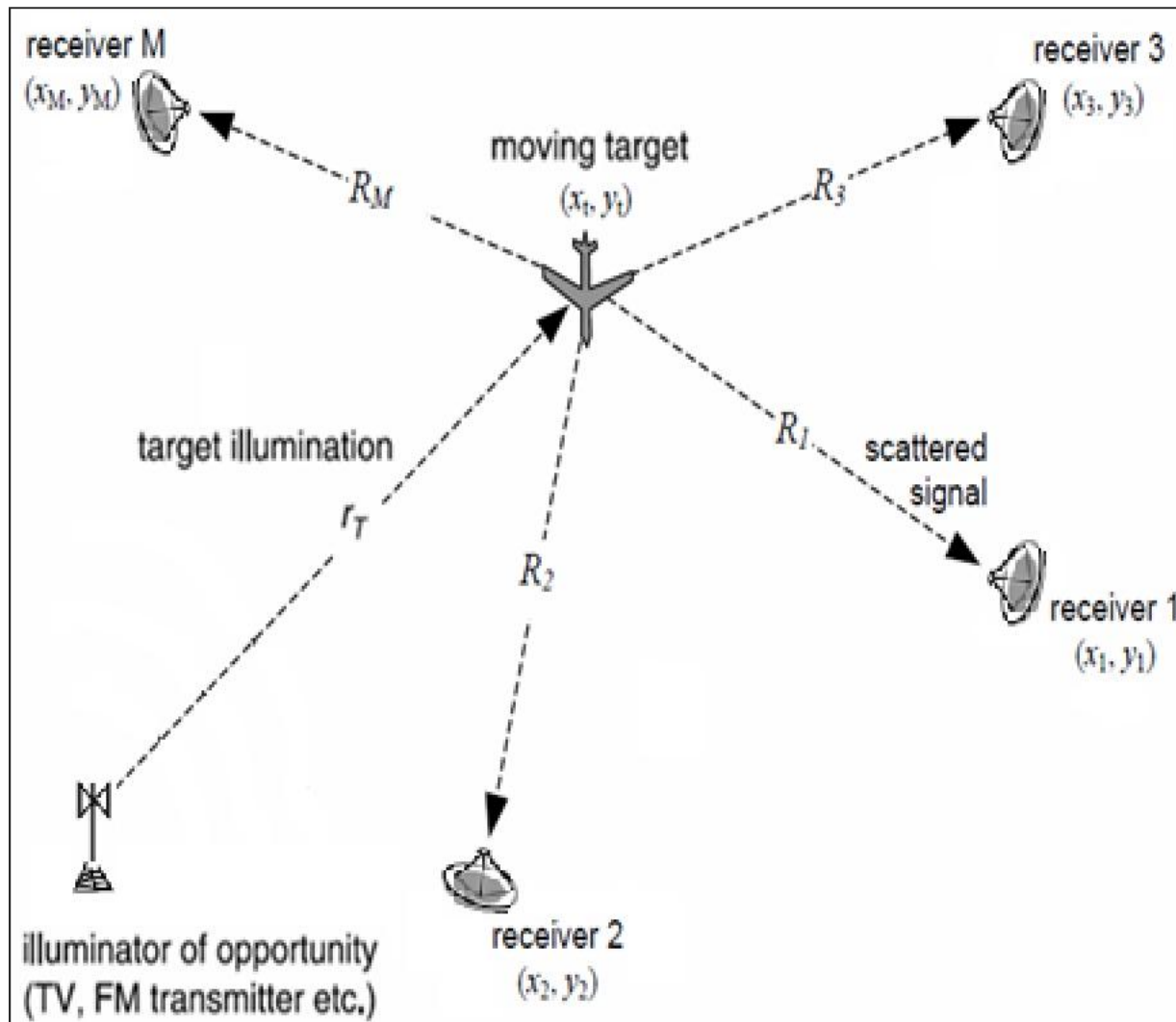


Kuvat: Risto Korhonen





# Passiivinen tutka, Liftari



John W. Franklin





# Passiivinen tutka, Liftari

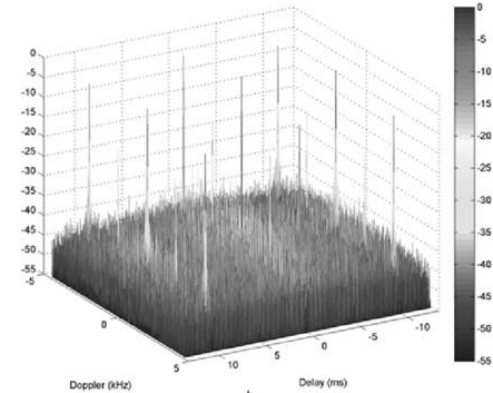
- Ei omaa lähetintä → tilannekuva ratkaistaan ulkopuolisten lähettimien signaaleiden avulla
- Passiivisen tutkan etuja aktiiviseen tutkaan nähden:
  - Monipaikkaisuus: valaisu- ja katselukulmien monipuolisuus hyödyllistä häivemaaleja vastaan
  - Tietoliikenteen ja yleisradiolähetteiden taajuusalueella perinteisten tutkien korkeammille taajuuksille suunniteltu häivemaalien pintakäsittely ja muotoilu eivät toimi optimaalisesti
  - Vastaanottimien paikantaminen ja niihin vaikuttaminen on vaikeaa
  - Tutkajärjestelmä ei vaadi taajuuslupia
  - Vastaanottimet eivät aiheuta häiriötä (vapausasteita sijoittamiselle)
  - Ei kuluja lähettimen hankinnasta / ylläpidosta
    - Käyttökustannukset alhaisemmat







# Passiivinen tutka, Liftari



Haasteita:

- Tarvitsee hyvän referenssisignaalin
  - Toisaalta voimakas referenssisignaali myös häiritsee havaitsemista
- Tietoliikenne- ja yleisradiolähetteet eivät ole optimaalisia tutkakäytössä
  - FM:lla spektrin kaistanleveys vaihtelee → etäisyysresoluutio vaihtelee
  - 4G LTE-signaalin monikäsitteisyysfunktiossa valemaaleja aiheuttavia piikkejä
  - Signaalien ajallinen saatavuus ei ole taattu
  - Toistimia samalla taajuudella samalla maantieteellisellä alueella
  - Onko siviili-infrastruktuuri turvassa kriisin aikana... ?
- Tutkat eivät ole aina päällä eivätkä valaise haluttua aluetta
- Maalin paikan ja tilavektorin ratkaiseminen vaatii intensiivistä laskentaa



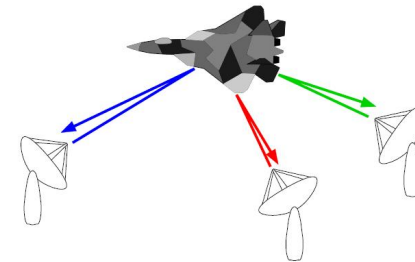


# MIMO-tutka

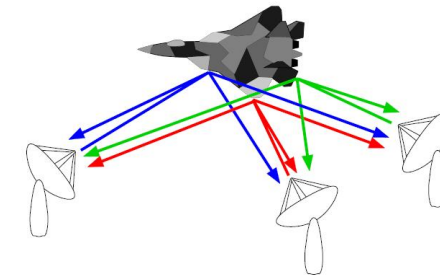
- MIMO -konseptia hyödyntävä sensoriverkko tarjoaa potentiaalisen vaihtoehdon taistelunkestäväksi ratkaisuksi tilannekuvan tuottajana.
- Aaltomuotojen optimointi eri tilanteisiin:
  - keilanmuodostus, häirinnän väistö, suorituskyvyn optimointi, spektrin tehokas käyttö
- Hyvät LPI-ominaisuudet – vastaanottimet joka tapauksessa vaikeasti paikannettavissa
- Diversiteettietu muodostuu paitsi aaltomuotojen optimoinnista, myös lähettimien ja vastaanottimien optimaalisesta sijoittelusta sekä polarisaatiotilojen hyödyntämisestä
- Tutkaverkon resursseja voidaan kohdentaa tarpeen mukaisesti



## Tavanomainen vs. MIMO-tutka



- Tavanomaisissa tutkissa kukin vastaanotin käyttää vain oman lähettimensä signaalia
- Muiden lähettimien signaali interferenssiä

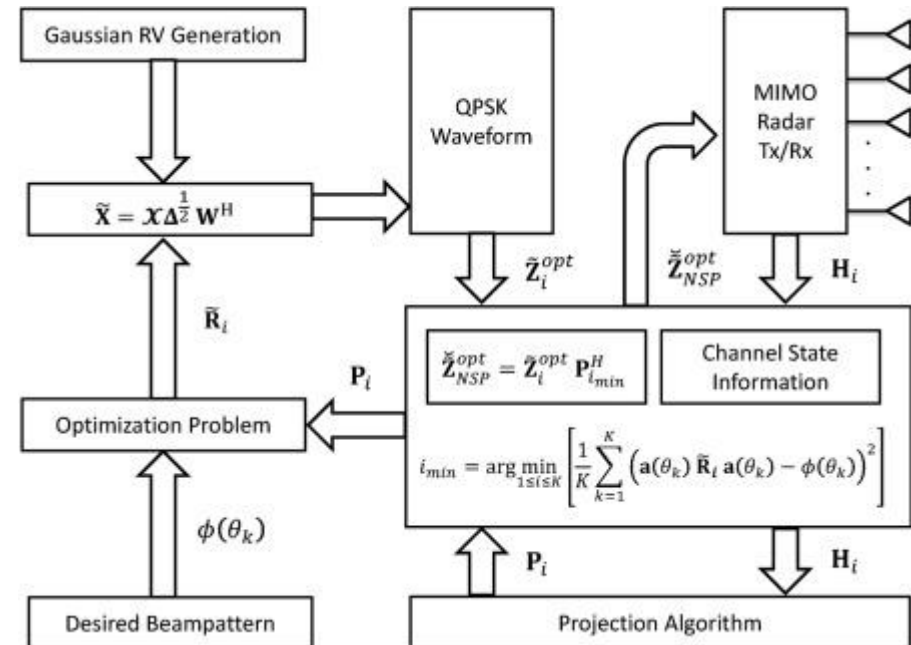


- MIMO-tutkassa eri lähettimet ja vastaanottimet suunniteltu toimimaan yhteistyössä
- Vastaanottimet voivat käyttää hyväksi kaikkia signaaleja



# MIMO-tutka

- Tutkatekniikassa pääosa suorituskvyn maksimoinnista on perinteisesti liittynyt vastaanottimen optimointiin ja paranteluun
  - paradigman muutos on se, että nyt keskeiset suorituskvyn parantelutoimet liittyvät lähettimen optimointiin
  - Vastaanottimet muodostavat tilannekuvan spektristä ja lähettimen signaalin kanavan tilasta – näitä tietoja käytetään lähettimen toiminnan optimointiin



Khawar et. al.





# Tulevat suorituskyvyt

- Radiotaajuisten lähettimien ja vastaanottimien kehitys on johtanut ja johtaa edelleen pienentyviin laitekokonaisuuksiin ja tehonkulutuksen vähentymiseen → Tutkasensoreita voidaan integroida kaikille alustoille ja jokaisen yksittäisen toimijan varusteisiin ja/tai kannettavaksi (myös hinnan puolesta)
- Softaradioista tulee yhä ketterämpiä ja nopeampia JA suurten datamäärien käsittelytaito ja laskentakyvyn kasvu mahdollistavat entistä kehittyneempien sensorisuorituskykyjen käyttöönottamisen → aiemmin vain harvojen käytössä olleet teknologiat ovat nyt kaikkien saatavilla
- Antenniteknologian kehitys tukee useisiin yhtäaikaisiin tehtäviin kykenevien järjestelmien esiinmarssia
- Tilannetietoisuus paranee merkittävästi, kun huima määrä sensoreita tuottaa dataa
- *Tiedonsiirtokapasiteetti ja tehon tuottamiskyky kehittyvät, mutta jatkuvasti ollaan "riittävän" rajamailla*





# The Need for Data Fusion

Helo viewed from 50 feet

*View from 5000 feet & 500 kts?*

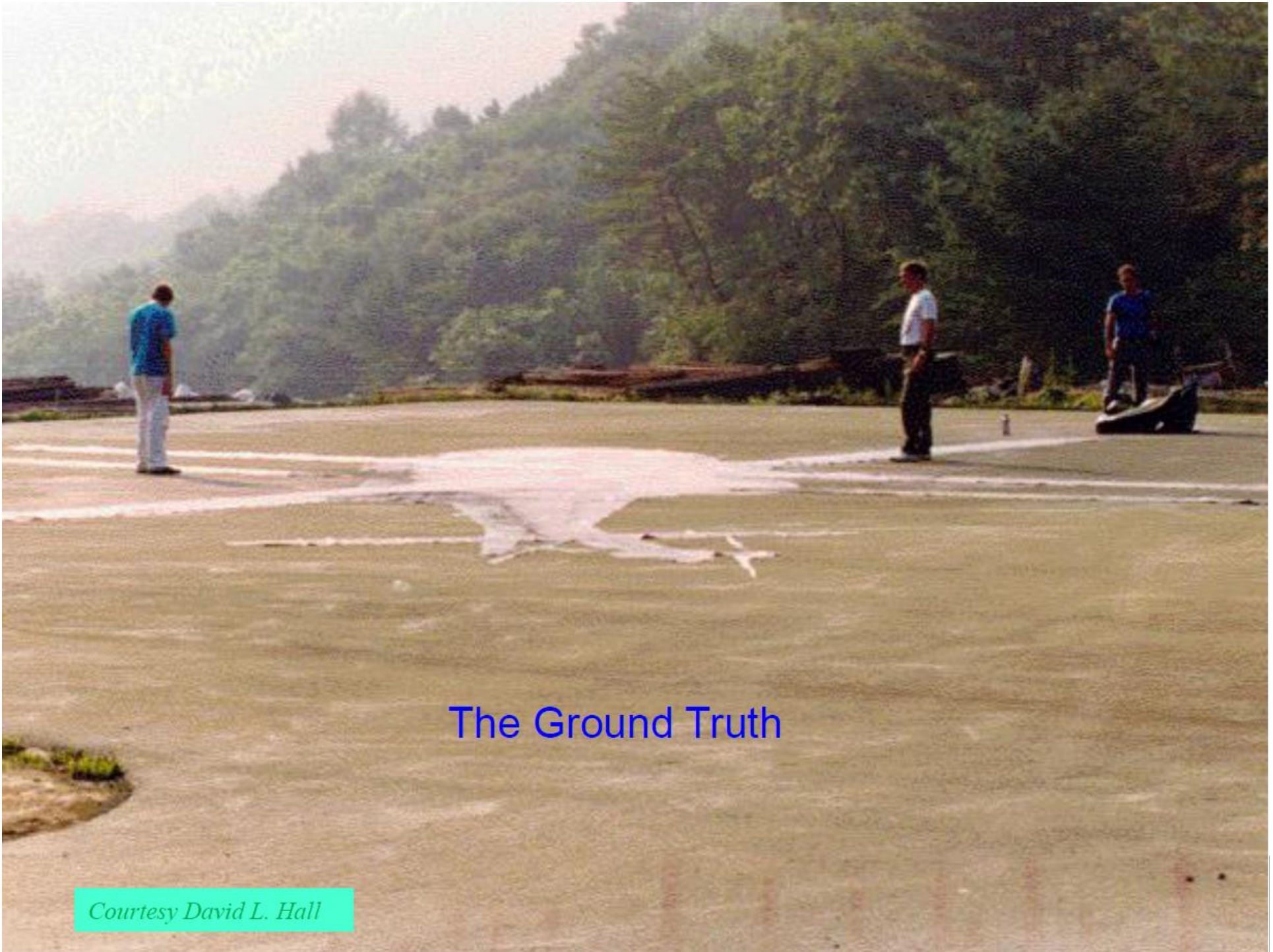
*Immediate Strike Decision –*

- *Go or No-go?*

*Courtesy David L. Hall*







## The Ground Truth

*Courtesy David L. Hall*