



清华大学
Tsinghua University

毫米波太赫兹波旅客 安检成像

赵自然

清华大学工程物理系



提 纲



- 1 毫米波太赫兹波成像技术
- 2 以人为中心的智能化安检
- 3 结论与展望

The background of the slide features a large, faint, light-gray watermark of the Tsinghua University seal. The seal is circular with a double-lined border. Inside the border, the Chinese characters "清華大學" (Tsinghua University) are written in a traditional serif font. Below the Chinese characters, the English words "TSINGHUA UNIVERSITY" are written in a smaller, sans-serif font. At the bottom of the seal, the year "- 1911 -" is inscribed.

1. 毫米波太赫兹波成像技术

毫米波太赫兹波均属于电磁波



■ 电磁波的含义

电磁波是以波动的形式传播的电磁场，是一种能量，凡是高于绝对零度的物体都会释出电磁波。

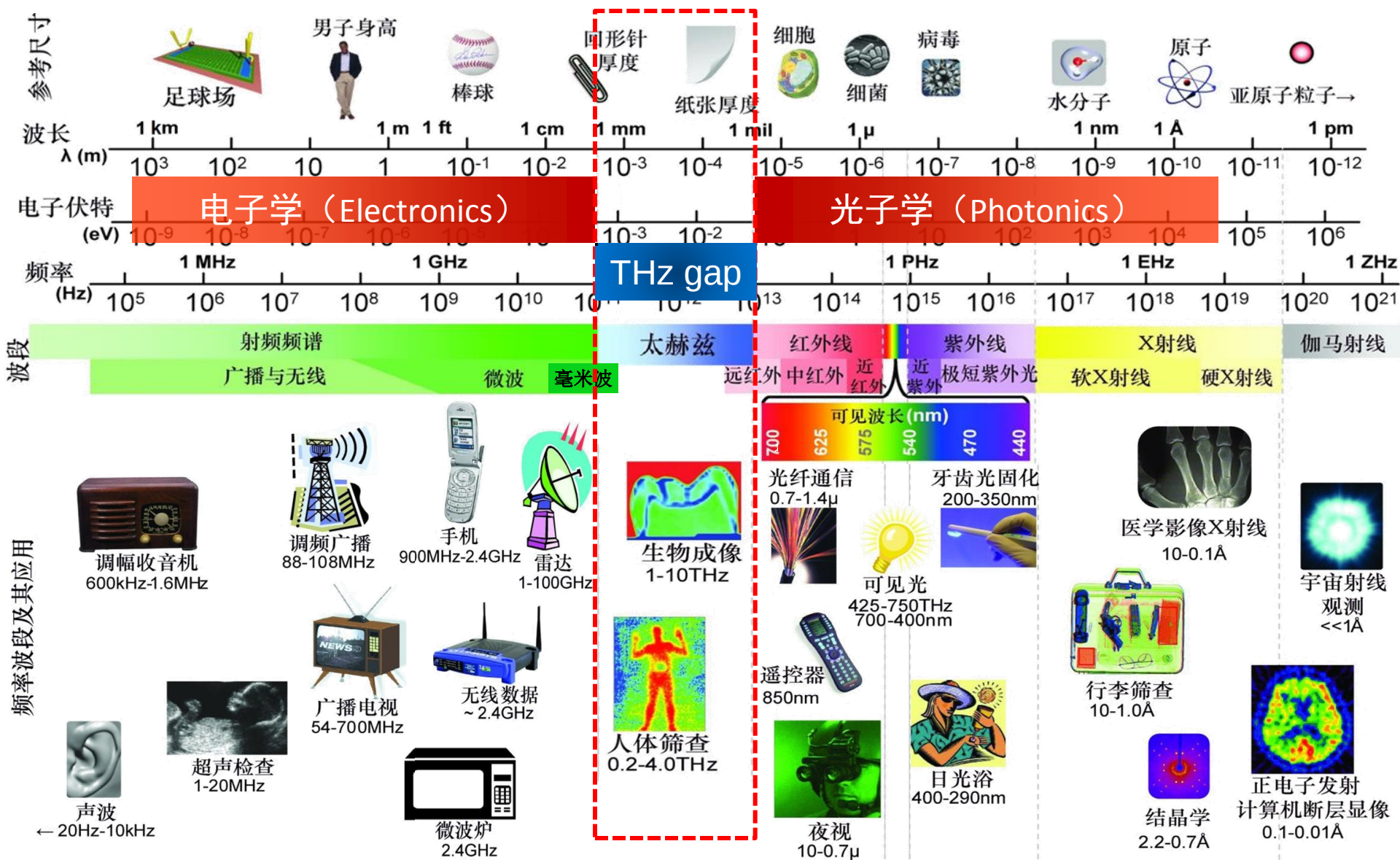


詹姆斯·麦克斯韦1865年预测



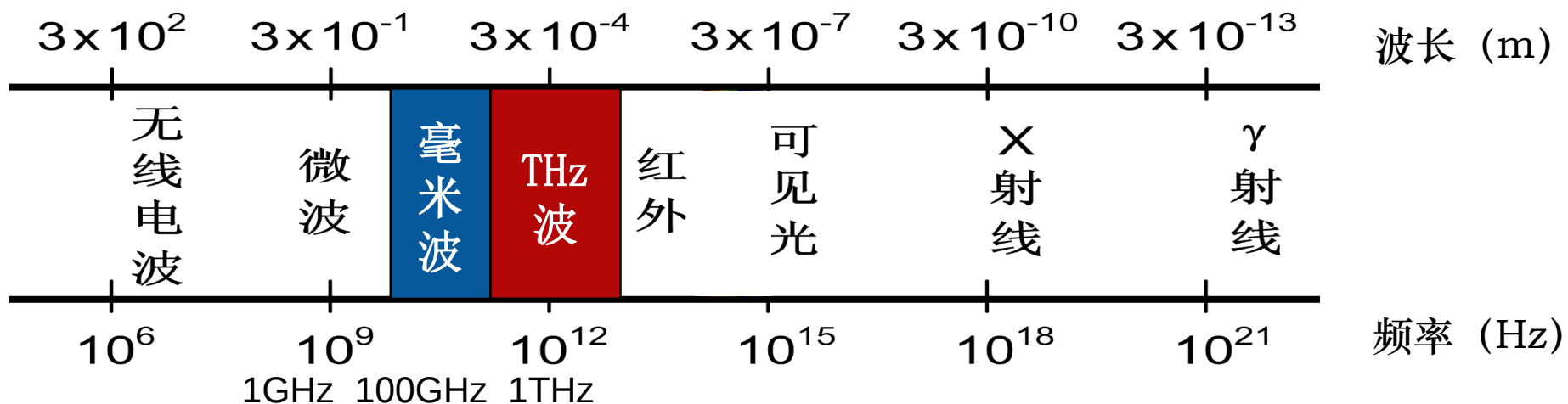
海因里希·赫兹1887年至1888年间实验证实

毫米波太赫兹波的应用



一百三十年来，人类逐渐征服利用了从射频到伽马射线的整个电磁波谱，为人们的生活带来了极大的便利，毫米波及太赫兹波段除外

技术优势



适合人身安检

不具有致电离性，对人员物品本质安全

提高频段到THz

可穿透非极性材料，可探测隐藏物品



物品成份识别

太赫兹光谱的“指纹”特性

远距离
高分辨谱成像

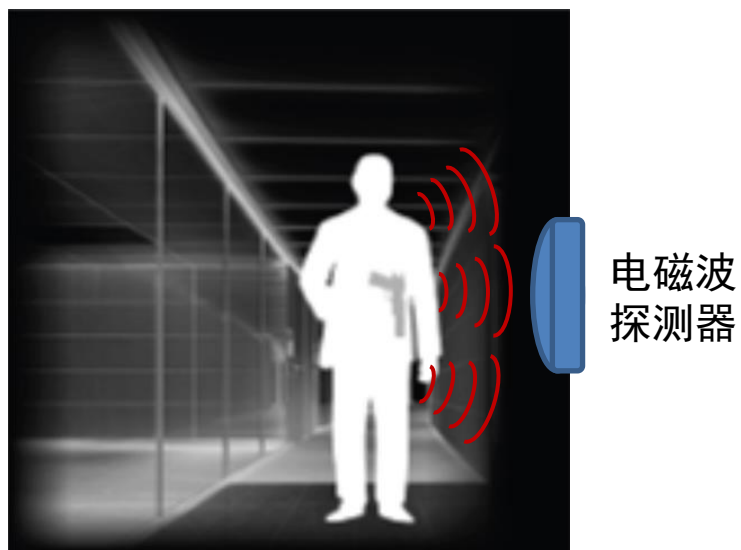
$1\text{THz} \sim 300\mu\text{m} \sim 33.3\text{cm}^{-1} \sim 4.1\text{meV}$

成像的两种体制



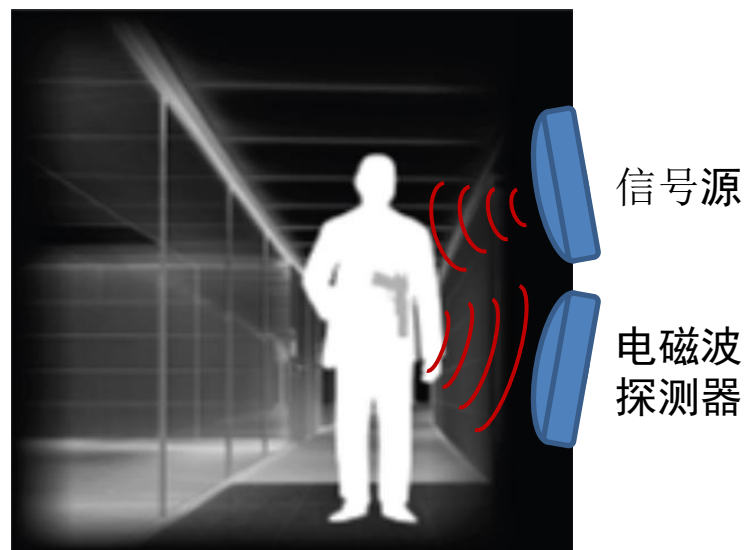
被动式（无源）

接收人体自身辐射的电磁波



主动式（有源）

接收人体反射或散射的来自信号发射源的信号

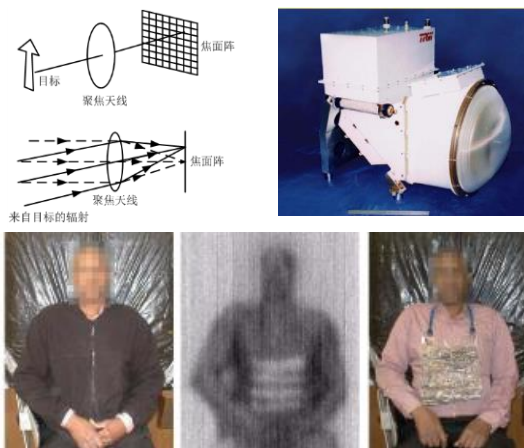


体制	速度	分辨率	对比度	安全性
被动式	实时	低	低	无电离辐射
主动式	接近实时	高	高	无电离辐射

被动式成像主要机制

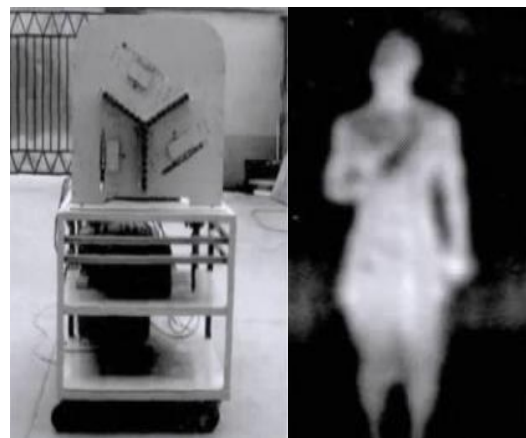
被动式成像体制与方法

焦平面阵列扫描成像



站开式/快速扫描
图像对比度及分辨率低

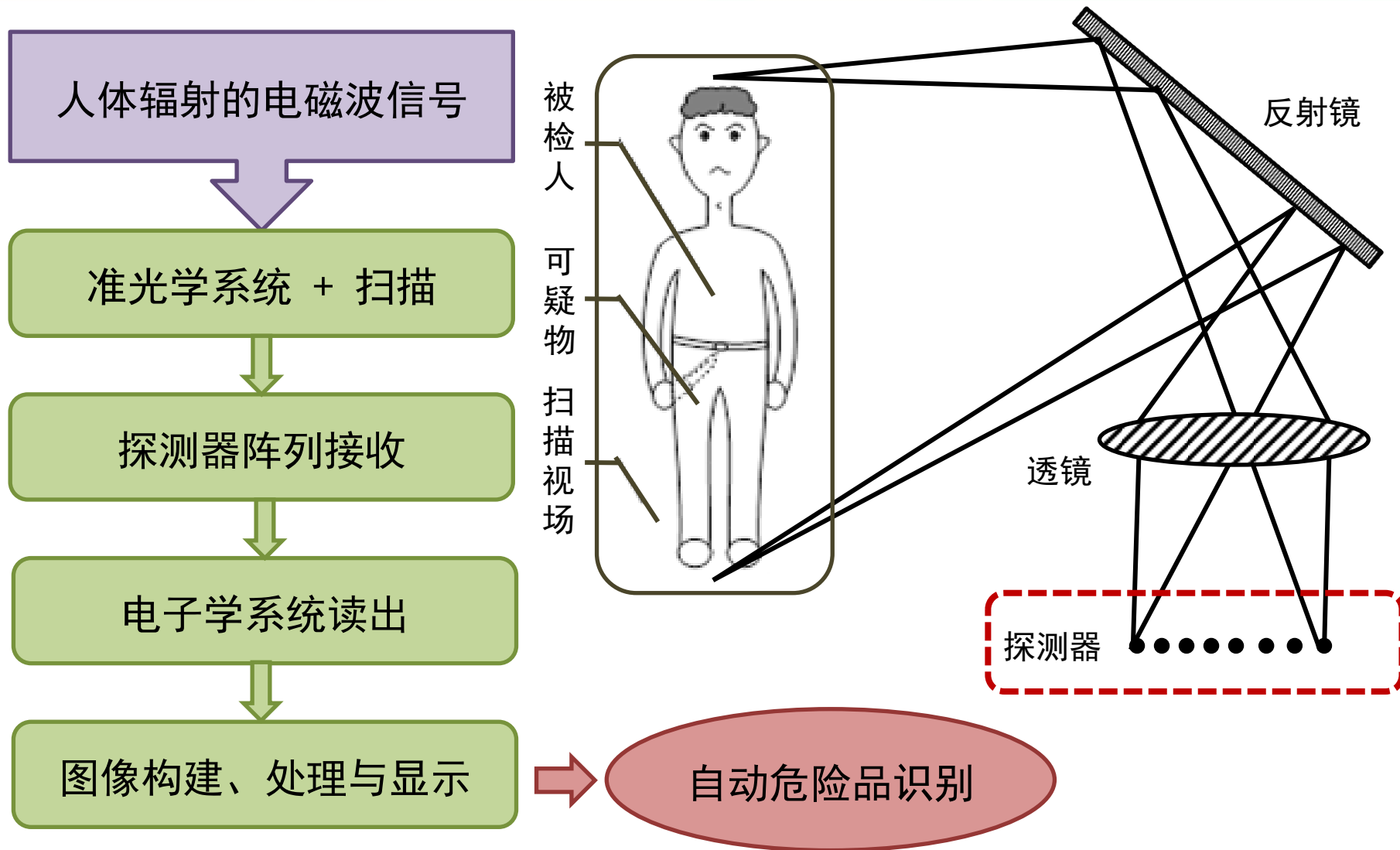
综合孔径



近距离/实时成像
图像对比度及分辨率低

被动式成像针对近距离或站开式的固定位置成像，
景深有限，无法对较大范围目标成像，实时成像但图像分辨率低

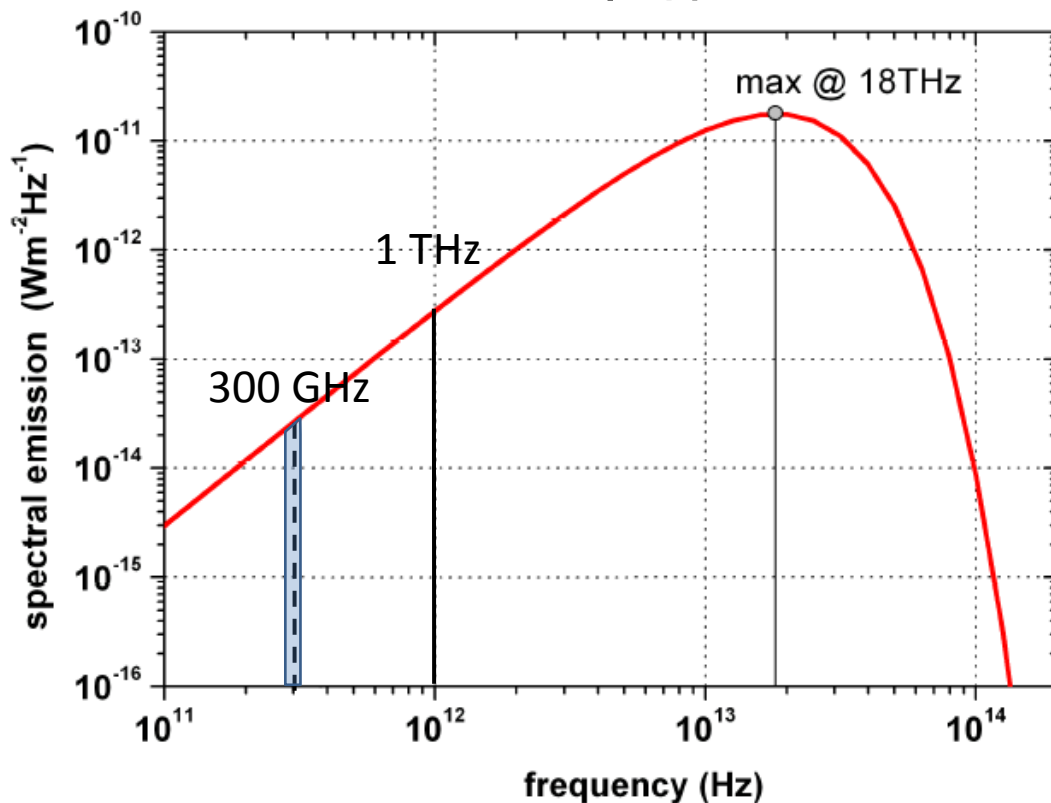
被动式焦平面成像原理



探测器灵敏度



37 °C 物体



普朗克黑体辐射定律

$$M(\nu, T) = \frac{2\pi h \nu^3}{c^2} \frac{1}{\exp(h\nu/kT) - 1}$$

$\nu = 300 \text{ GHz}$

$\Delta\nu = 40 \text{ GHz}$

$T_{\text{背景}} = 20^\circ\text{C}$

成像距离: 5 m

收集口径: 50 cm

成像面积: 1 m²

分辨率: 1 cm

帧率: 10 Hz

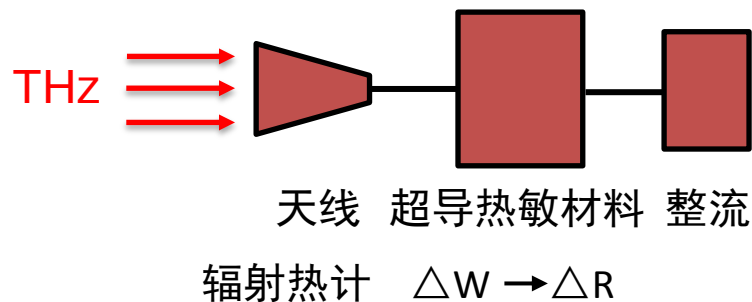
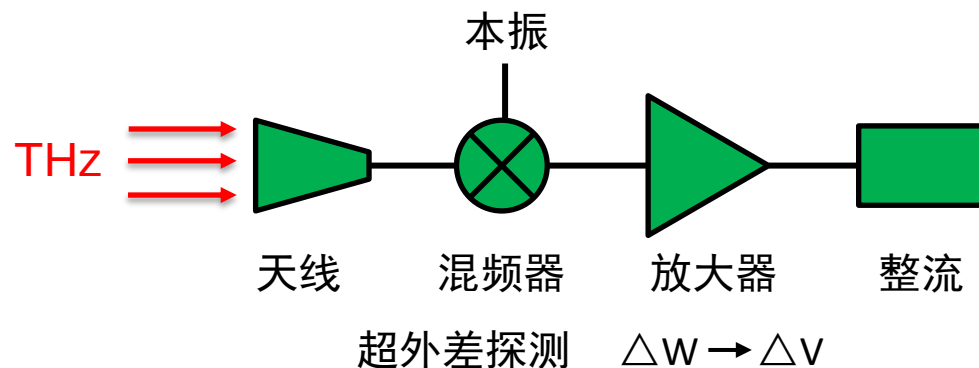
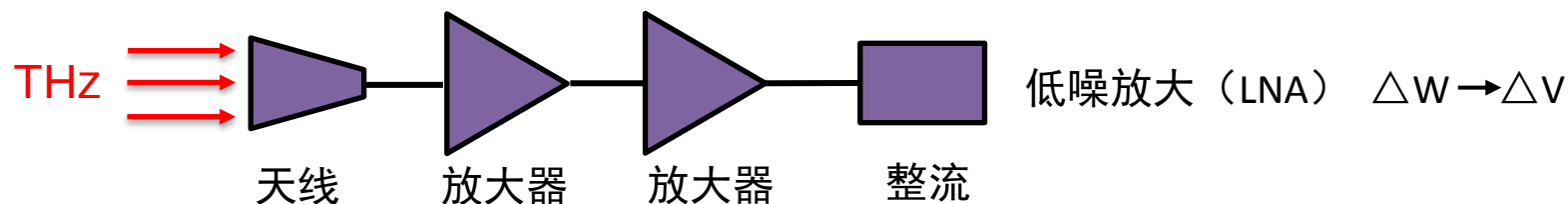
探测器需分辨的功率差

~ 40 fW,

NEP ~ 0.1 fW/ $\sqrt{\text{Hz}}$

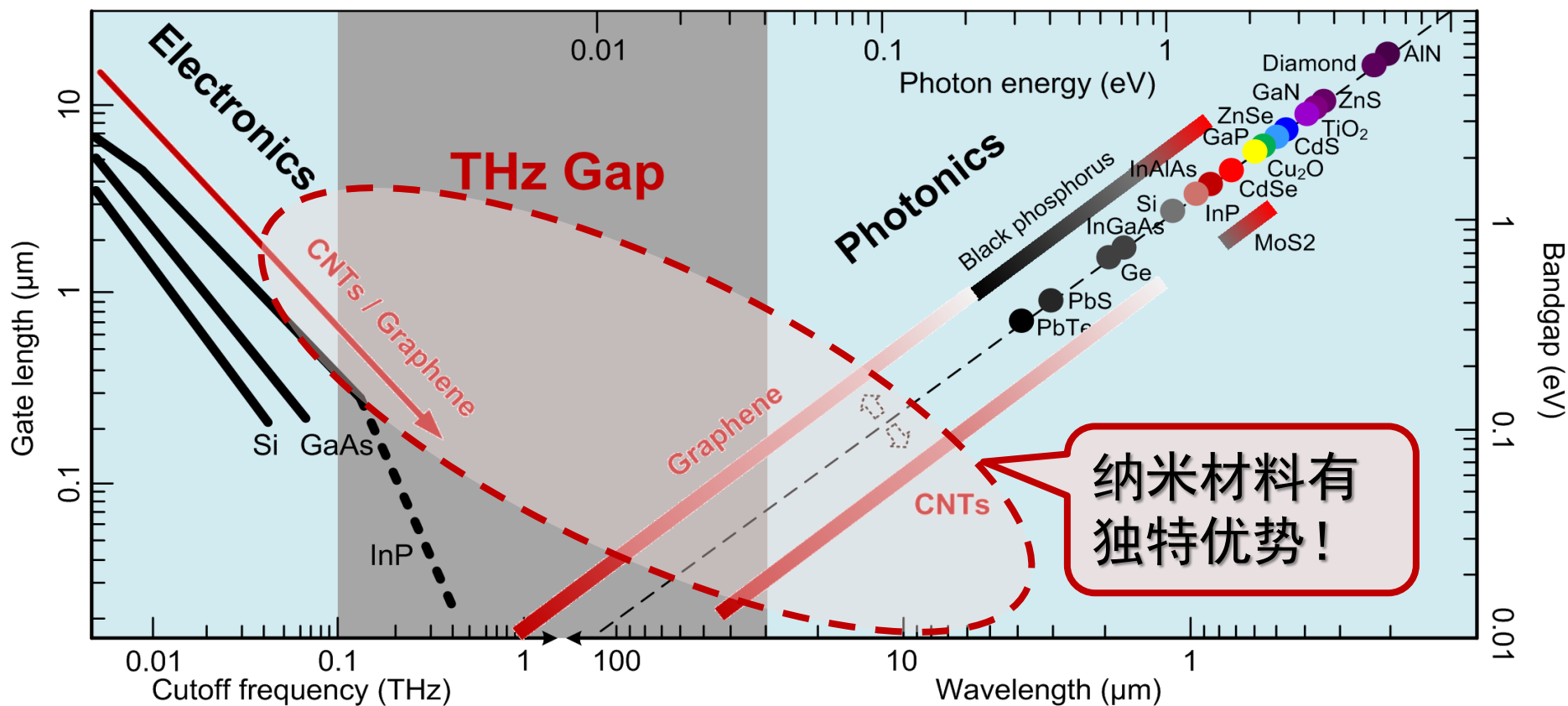
被动式探测器分类

种类	灵敏度	工作温度	工作频率	成本	集成度
辐射计 (Radiometer)	中等	室温	$< 1 \text{ THz}$	高	中等
超外差接收器 (Heterodyne)	高	室温	$< 2 \text{ THz}$	极高	低
辐射热计 (Bolometer)	极高	低温	$> 200 \text{ GHz}$	中等	高



纳米材料的优势

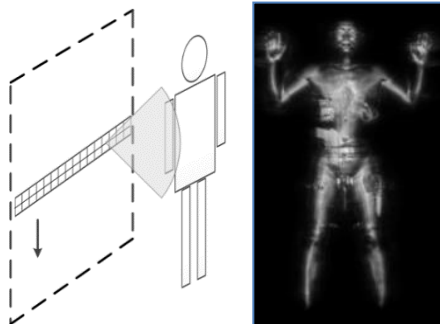
- 太赫兹室温探测很困难，传统电子学或光子型器件受迁移率或带隙限制，难以到达太赫兹波段。



主动式成像主要体制

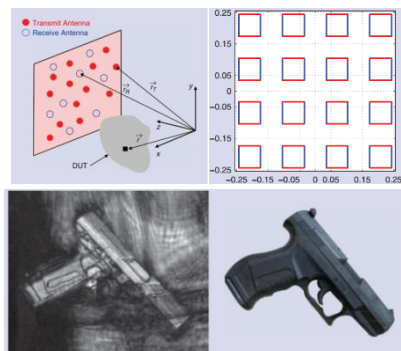
主动式成像体制与方法

准/单站SAR



近距离/高分辨/
快速重建
扫描时间长

MIMO雷达



近距离/高分辨/
快速扫描
重建时间长

相控反射阵列



近距离/快速
成像
应用受限

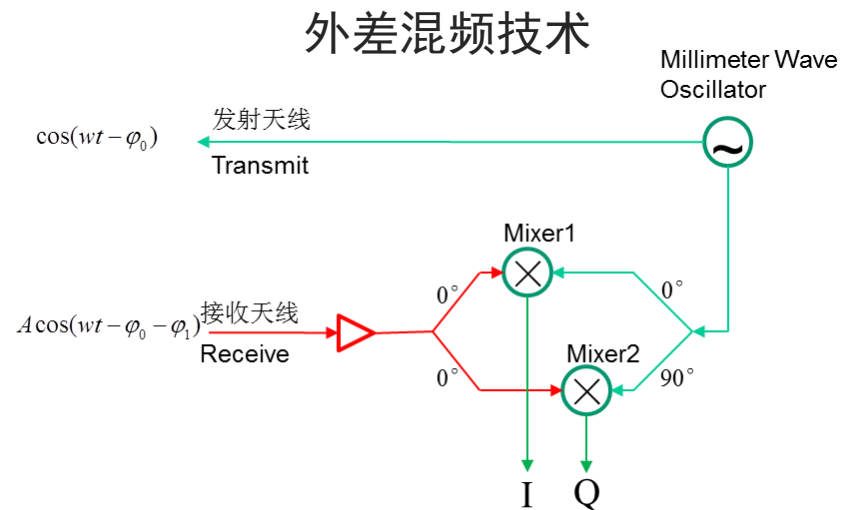
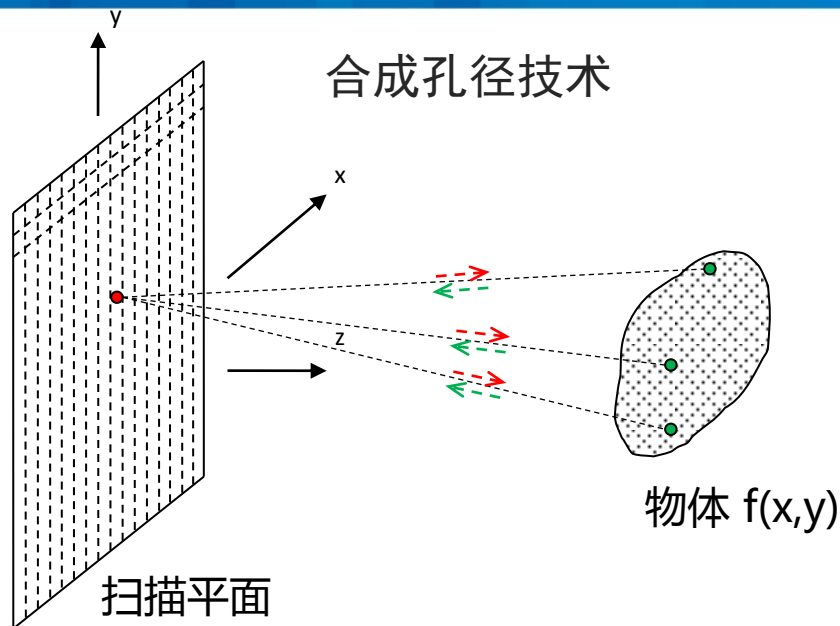
实孔径聚焦



站开式/快速
成像
分辨率低

主动式成像针对近距离或站开式的固定位置成像，
成像范围小，图像信息单一，实时性和高分辨率不兼容

毫米波全息成像原理

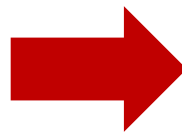
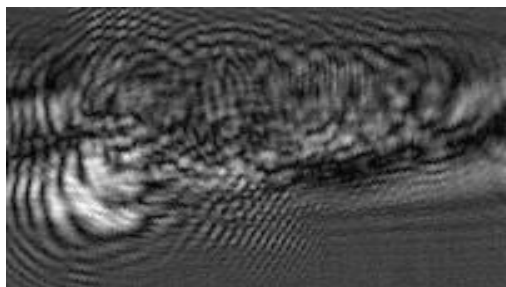


$$s(x_0, y_0, \omega) = \iiint f(x, y, z) \frac{\exp(-j2kr)}{r^2} dx dy dz$$

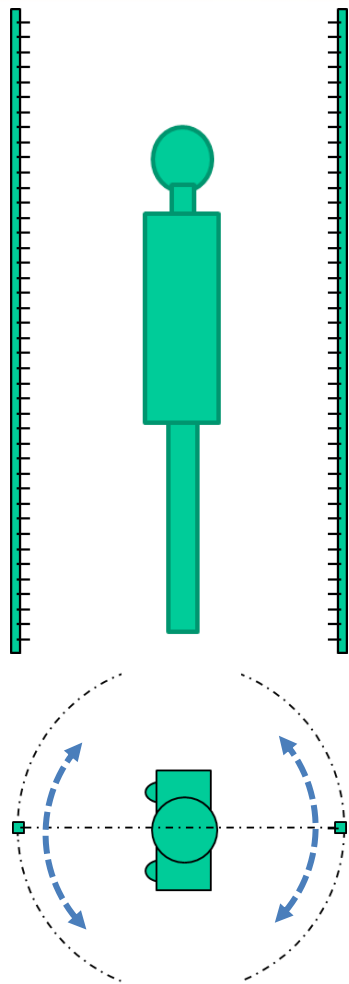
全息数据

目标反射率

往返球面波



合成孔径实现方式



国外专利封锁

Millimeter wave holographic scan imaging apparatus for human body security inspection
US patent US2015/0048251 A1



双面同时工作
分配与同步
频率快速切换
双频综



- ✓ 阵列长度短
- ✓ 占地面积小
- ✓ 无封闭感
- ✓ 便于升级

双面联动平面扫描成像机制

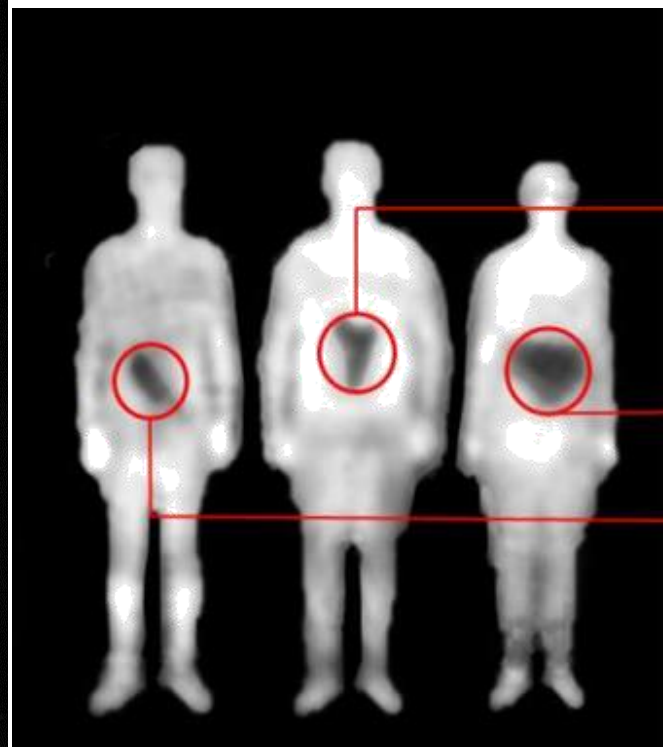
静态成像效果



成像距离: 0.5 m
分辨率: 0.1 cm

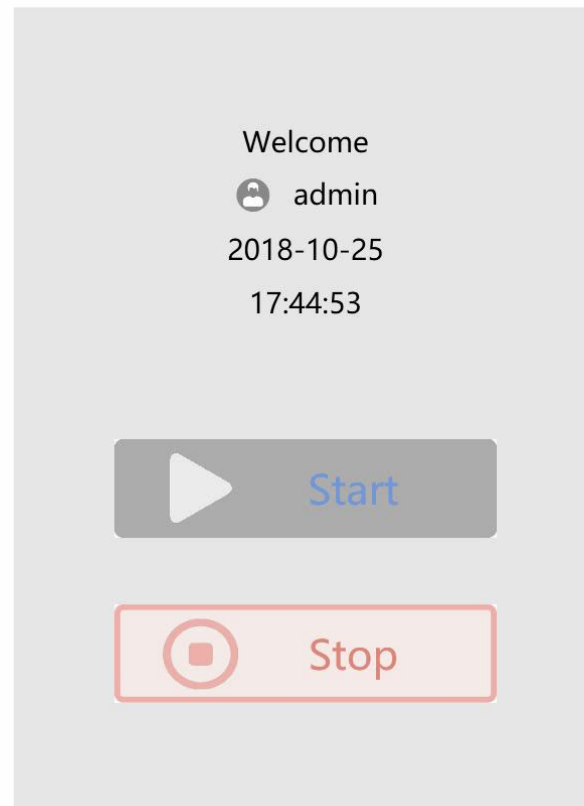


帧率: 0.5 fps
0.5 cm



成像距离: 5 m
帧率: 10 fps
分辨率: 2 cm

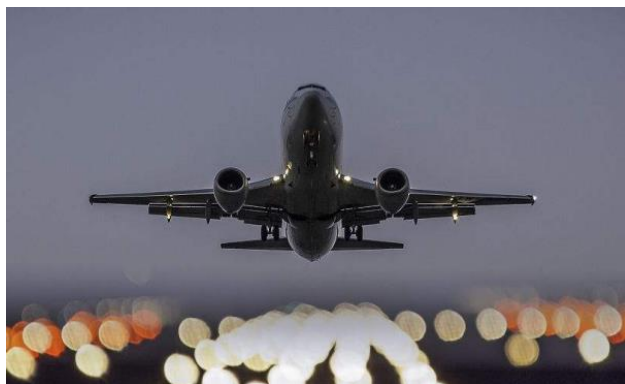
动态成像效果



The background of the slide features a large, faint, light-gray watermark of the Tsinghua University seal. The seal is circular with a double-lined border. The top half contains the Chinese characters '清華大學' (Tsinghua University) in a traditional serif font. The bottom half contains the English text 'TSINGHUA UNIVERSITY' and the founding year '- 1911 -'.

2. 以人为中心的智能化安检

人体安检的重要性



时间	地点	事件
2005. 07. 07	伦敦地铁	自杀式恐怖袭击
2009. 12. 25	美国西北航空公司飞机	试图引燃随身携带爆炸物
2014. 03. 01	昆明火车站	暴力恐怖袭击
2015. 10. 31	俄罗斯客机	俄罗斯联邦安全部门证实机上有爆炸装置
2016. 02. 02	索马里客机	自杀式爆炸袭击

急需对人体随身藏匿物进行安全、文明、有效查验的技术手段

人体安检的趋势



手动搜身

+

金属探测器

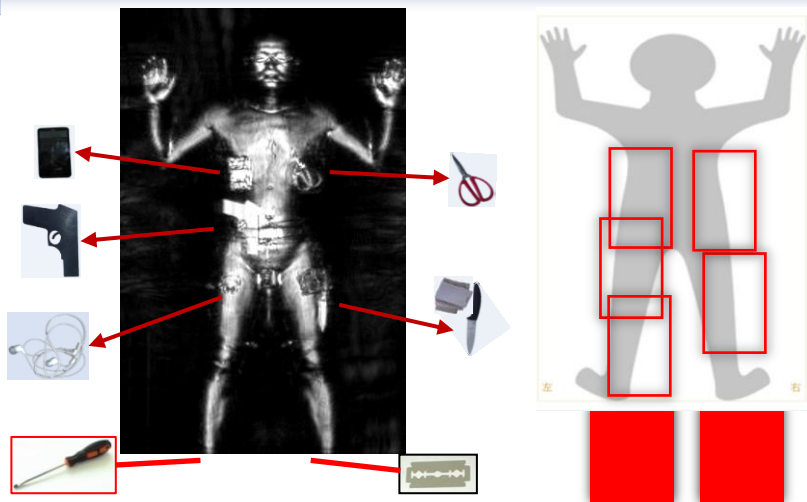


- 接触
- 侵犯隐私
- 效率低



- 只能检查金属违禁品

非接触式安检



- 快速、安全
- 具备成像能力
- 自动危险品识别

非接触式电磁波（毫米波/太赫兹）成像是人体安检的趋势

以人为中心的安检



被动式太赫兹技术
关联安全感知数据
结果，**重点嫌疑人员**
无感知高效筛查



>5米 嫌疑预警

精细检查 旅检区

<5米 楼前安检

多元信息融合技术

数据研判、黑名单关联、人脸识别、身份识别、步态识别、表情识别等。

通过机器学习与大数据算法，准确高效地**预先识别出即将进入区域的危险目标**



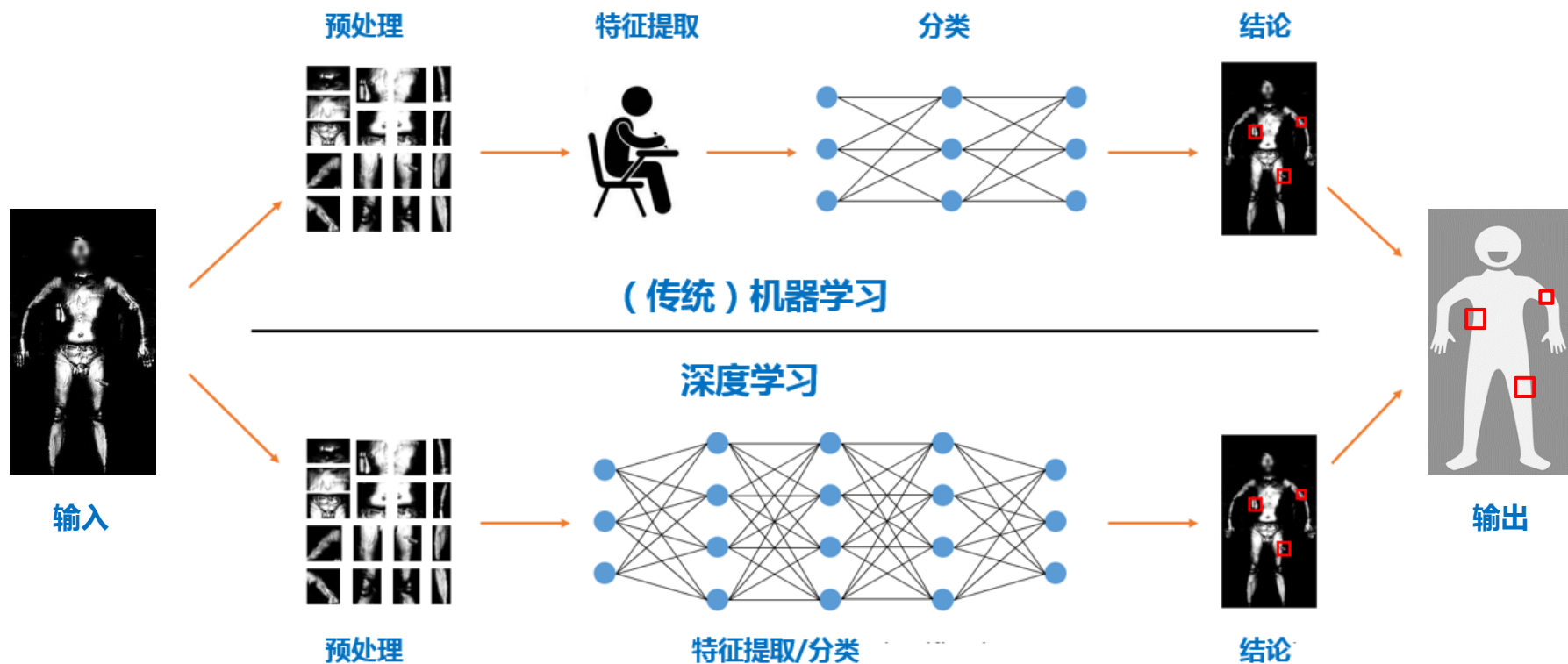
主动式毫米波技术

短暂停留式精确检查，
对报警区域进行二次搜
身安检

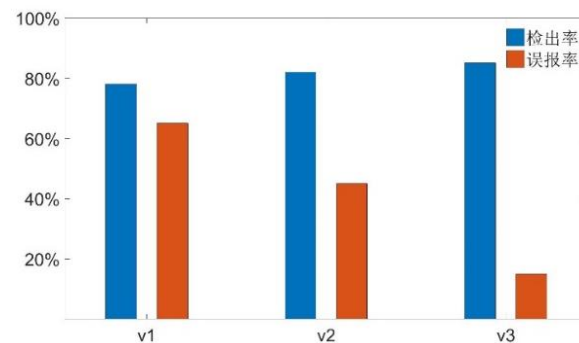
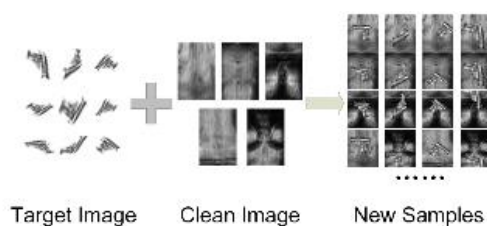
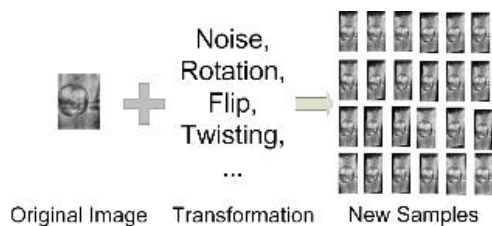
自动危险品识别



ATR (*Automatic Threats Recognition*)

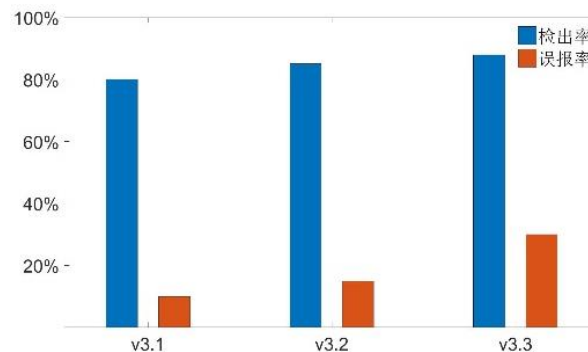


ATR算法



✓ 先进的算法可以提升检出率同时降低误报率

✓ 算法确定后，仍需平衡检出率与误报率，即检查效果与检查效率之间的关系



机场区域内对旅客的安全感知



1. 嫌疑预警



购买机票



抵达机场

2. 楼前/围界无感安检



楼前安检



托运及打印登机牌



登机

3. 候机区精细安检



登机前检查



旅检



人证核验

旅客差异化



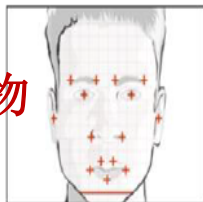
手机/身份信息



票务/人口信息



生物信息



历史安检信息



风险等级低乘客

A类人员：人脸、身份证、手机号统一

风险等级低

进安检区



风险
等级
判定

(可以自动大数据决策+辅助人工审核)

风险等级高乘客

B类人员：人脸、身份证、手机号不匹配

风险等级高

进安检区



根据安检等级
动态调整抽检比例和检查模式

快速检查

1. 更少的安检时间
2. 人身图像检查 (自动识别、免检、抽检)
3. 物品图像检查 (自动识别、免检、抽检)

常规检查

1. 较长的安检时间
2. 人身检查 (自动识别+人工核验)
3. 物品安检 (自动识别+人工核验)
4. 爆炸物、液体检查

典型案例



The background of the slide features a large, faint, light-gray watermark of the Tsinghua University seal. The seal is circular with a double-lined border. Inside the border, the Chinese characters "清華大學" (Tsinghua University) are written in a traditional serif font. Below the Chinese characters, the English words "TSINGHUA UNIVERSITY" are written in a smaller, sans-serif font. At the bottom of the seal, the year "- 1911 -" is inscribed. The seal is centered horizontally and partially obscured by a blue horizontal band.

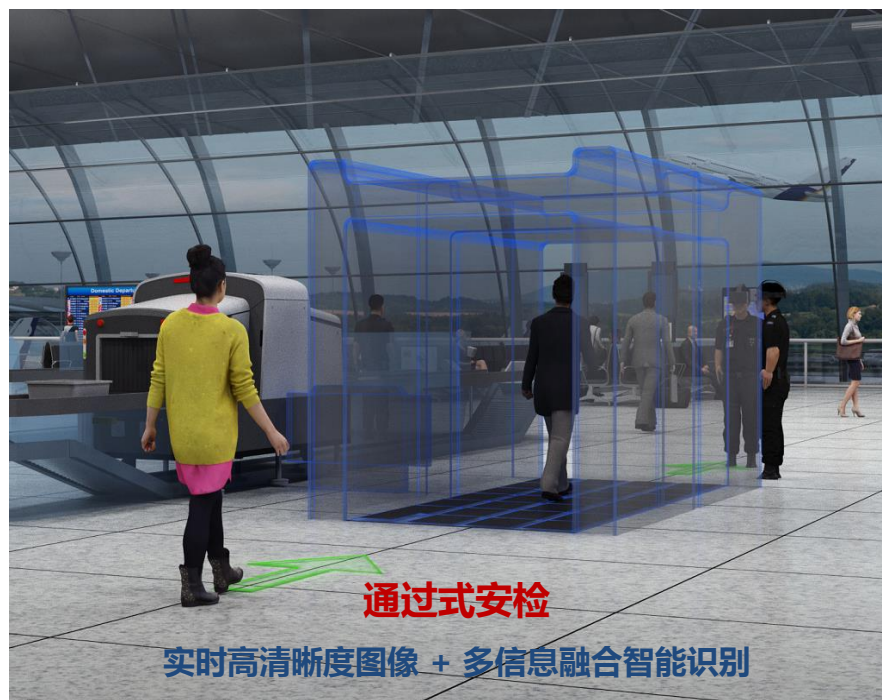
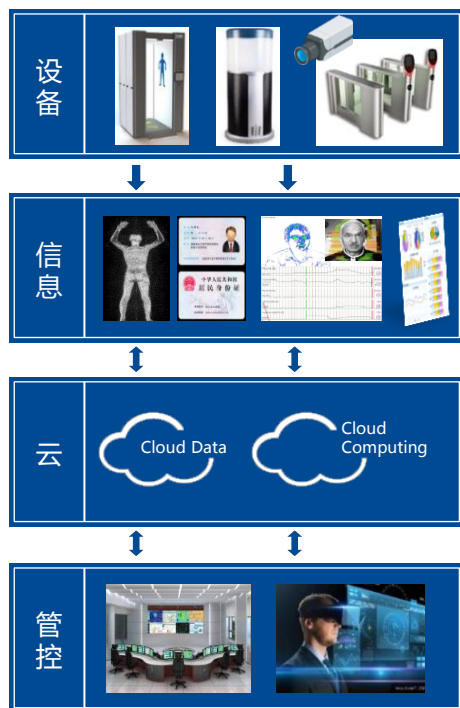
结论与展望

结 论



- ✓ 非接触式电磁波（毫米波/太赫兹）成像技术是旅客安检的发展趋势
- ✓ 在成像技术取得突破的同时，把实时高清的旅客安检图像与其它安检信息（如身份信息、历史记录、行李信息、步态、情绪等）进行深度融合，实现无感通过，并以人为中心进行智能化拓展实现差异化旅客安检，可形成更安全、更舒适、更高效的旅客安检新模式

展望



新成像技术



Deep Learning

Big Data

Cloud

VR / AR

守法
公民

- 90%-99%
- 旅客快速通行

强犯罪
特征

- 0%-0.5%被布控 预警、拦截
- 有犯罪记录并被记录在案的
- 与犯罪人员有直接联系的

弱犯罪
特征

- 0%-10% 重点检查
- 具备基础身份数据
- 有犯罪行为但未被记录的

无犯罪
特征

- 0%-10%重点检查
- 不具备基础身份数据
- 虚假身份数据



谢谢!

Creating a Safer World!