



FFI-RAPPORT

17/17052

Teknologiske muligheter for Tolletaten

sensorteknologi og maskinlæring for automatisering av postmottak

—

Kristin Hammarstrøm Løkken

Lars Aurdal

Idar Dyrdal

Thor Engøy

Teknologiske muligheter for Tolletaten

sensortechnologi og maskinlæring for

automatisering av postmottak

Kristin Hammarstr m Løkken

Lars Aurdal

Idar Dyrdal

Thor Engøy

Emneord

Teknologi
Maskinlæring
Nevrale nettverk
Automatisering
Sensorer
Tolletaten
Import

FFI-rapport

FFI-RAPPORT 17/17052

Prosjektnummer

530201

ISBN

P: 978-82-464-3030-0

E: 978-82-464-3031-7

Godkjent av

Rune Lausund, *forskningsleder*

Janet Martha Blatny, *avdelingssjef*

Sammendrag

Tolletaten har gitt Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) oppdrag om å gjennomføre en teknologisk mulighetsstudie som kan bidra til etatens strategi for utvikling av organisasjonen på kort, mellomlang og lang sikt. Våren 2017 gjennomførte FFI en breddestudie som omhandlet teknologiske muligheter for Tolletaten.

Denne rapporten er resultatet av en videre studie som dreier seg om automatisering av postmottak. Vi presenterer kort noen sensorteknologier som anses som relevante for dette formålet. Videre beskriver vi et mulig oppsett for automatisk skanning av post. Her beskrives et samlebånd med forskjellige sensorteknologier, hvor pakkene skannes en og en, mens det gjøres sanntidsprosessering på sensordataene som kommer inn. Ved enden av samlebåndet tas det en avgjørelse om hvorvidt pakken kan klareres og sendes ut, eller om den skal sendes videre til neste nivå av skanning eller manuell kontroll.

Vi viser også et eksempel på et dyp læring-basert system for deteksjon av våpen i forsendelser, for å illustrere mulighetene som slike løsninger kan tilby.

Vi konkluderer med at deler av skanningen i postmottaket kan automatiseres. I prinsippet kan alle pakker skannes automatisk. Det vil være mulig å foreta automatisk utvelgelse av pakker hvor datasystemet finner mønstre som er assosiert med beslag. Personellressurser kan dermed i større grad benyttes til kontroller og ikke-rutinemessig utvelgelse.

Summary

The Norwegian Customs Agency has tasked The Norwegian Defense Research Establishment (FFI) to carry out a technology feasibility study that can contribute to the agency's strategy for developing the organization in the short, medium and long term.

We have conducted a study on emerging technological opportunities for the Norwegian Customs Agency.

This report is the result of an additional study concerning technologies relevant for automation in mail processing centres. We give a short presentation of certain sensor technologies which are considered relevant for this purpose. Further, we suggest a layout of such a mail processing centre. An assembly line is proposed, featuring several sensor technologies. At the assembly line, incoming packages are scanned individually. Real time processing is then performed on the sensor data, so that a decision may be made at the end of the line. Based on this decision, the package is either cleared and sent out of the customs system, or sent to the next level of scanning or manual inspection.

We present an example of a deep learning based system, designed to detect weapons in luggage. This illustrates some of the possibilities offered by such a system.

In conclusion, some of the processes performed by the mail processing centre may be suited for automation. In principle, all packages can be scanned this way. Automatic selection can be made from patterns that are associated with previous customs seizures. Thus, personnel resources may be used for manual inspections and non-routine selection.

Innhold

1 Innledning	7
1.1 Bakgrunn	7
1.1.1 Bredestudien	7
1.1.2 Videre studie: Automatisering av postmottak	8
1.2 Avgrensning	9
1.3 Leseveiledning	10
2 Sensorteknologier for postmottak	11
2.1 Synliglyskamera	11
2.1.1 Kameraer til skanning av pakker	12
2.1.2 Kameraer til kontroll av pakker	12
2.2 Røntgen og CT	12
2.2.1 Røntgen for skanning av pakker	14
2.2.2 Røntgen for kontroll av pakker	14
2.3 Hyperspektral avbildning	14
2.3.1 Hyperspektral avbildning for skanning av pakker	14
2.3.2 Hyperspektral avbildning for kontroll av pakker	14
2.4 Kjemiske detektorer	14
2.4.1 Kjemiske detektorer til skanning av pakker	15
2.4.2 Kjemiske detektorer til kontroll av pakker	15
2.5 Terahertz	15
2.5.1 Terahertz til skanning av pakker	15
2.5.2 Terahertz til kontroll av pakker	16
2.5.3 Begrensninger og krav til terahertz	16
3 Eksempel på automatiseringsløsning	17
3.1 Skisse over sensorer og nivådelt samlebånd	18
3.1.1 Klargjøring for automatisk skanning	18
3.1.2 Automatisk skanning av post	18
3.2 Volum på pakkestrøm	21
3.3 Informasjonsflyt og databehandling	21
3.3.1 Personinformasjon	22
3.3.2 Sanntidsprosessering	22
3.3.3 Maskinlæring og tilfeldig utvalg	22
3.4 Sporing	23
3.4.1 Løpenummer	23
3.4.2 RFID	24
3.4.3 Strekkoder på transportbånd	24
3.4.4 Kasser eller roboter med egen ID	24
3.4.5 Hybrid løsning	24

3.5	Vurderinger som må gjøres	25
3.5.1	Skanning av enkeltpakker eller hele postsekker	25
3.5.2	Spesialpakker	25
3.5.3	Samlebånd	25
3.5.4	Sensorteknologi	26
4	Maskinlæring på sensordata fra postmottak	27
4.1	Eksempel: Finne en pistol i røntgenbilder	28
4.2	Maskinlæring på heterogene data	29
5	Automatisering og personellbehov	33
5.1	Grunnlagsdata	33
5.2	Kontroll av automatisk utplukkede pakker	33
5.3	Behov for randomiserte kontroller	34
6	Konklusjon og anbefalinger	36
7	Veien videre	37
Vedlegg		
A	Bidragstere til rapporten	38
Referanser		39

1 Innledning

På oppdrag fra Tolletaten har Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) gjennomført en teknologisk mulighetsstudie som kan bidra til etatens strategi for utvikling av organisasjonen på kort, mellomlang og lang sikt. Dette resulterte i rapporten i [1], heretter kalt *breddestudien*, og med utgangspunkt i denne har Tolletaten bedt om videre studier på to tematiske områder. Det ene området dreier seg om maskinlæring og mønstergjenkjenning generelt, se [2], heretter kalt *maskinlæringsstudien*. Den andre studien er presentert i denne rapporten, og tar for seg automatisering av postmottak.

Tolletaten har formulert formålet med studien slik:

Teknologier og sensorer for automatisert vurdering og utvelgelse av pakkepost som skal kontrolleres fysisk. Målet er på sikt å kunne vurdere automatisk all pakkepost fra utlandet.

De overordnede temaene for den teknologiske mulighetsstudien er kunstig intelligens, maskinlæring og sensorsystemer – begreper som er beskrivende for den teknologiske utviklingen. I breddestudien gjorde vi en avgrensning, ved at vi valgte å fokusere på dyp læring som metode for kunstig intelligens. Dyp læring er et fagfelt som er i rask utvikling og som gir svært gode resultater.

Målet med denne videre studien er å gi en oversikt over teknologiområder som er relevante for fremtidens postmottak, samt konkrete eksempler på hvordan sensorteknologi og maskinlæring kan brukes til automatisering av postmottak.

1.1 Bakgrunn

Våren 2017 utførte en tverrfaglig prosjektgruppe fra FFI første del av en teknologisk mulighetsstudie for Tolletaten. For å bli kjent med etaten, ble prosjektgruppen invitert på flere befaringer og fikk se hvordan tollerne jobber. De besøkte Oslo havn, operasjonssentralen i Oslo, Toll- og vareførselseksjonen Alnabru, postmottakene Alnabru og Robsrud, samt Gardermoen og Svinesund.

1.1.1 Breddestudien

Den første delen av den teknologiske mulighetsstudien var en breddestudie hvor formålet var å favne bredt og

- gi oversikt over mulige teknologiområder for Tolletaten med et spesielt fokus på kunstig intelligens, maskinlæring og sensorsystemer,
- identifisere og anbefale utvalgte teknologiområder for videre analyse og
- hvis mulig, identifisere teknologiområder som kan ha konsekvenser for organisering på kort sikt.

Resultatet av den første delen av oppdraget ble den rapporten som her omtales som *bredestudien*. I bredestudien ble det presentert en rekke forskjellige sensorteknologier som kan være aktuelle for Tolletaten:

- Kameraer
- Røntgen
- Promptgamma aktiveringsanalyse
- Kjemiske detektorer
- Terahertz-teknologi
- Hyperspektral avbildning
- Undervannssensorer i nettverk
- Liten navigasjonsradar ESM
- Satellittbaserte sensorer
- Radar
- Akustiske sensorer
- Biometri

Det ble også gitt beskrivelser av BarentsWatch og registre i inn- og utland, og muligheter som disse kan gi Tolletaten. Konseptet utvidet virkelighet (augmentet reality) ble også presentert.

De andre kapitlene i bredestudien tok for seg automatisering og robotisering, samt relevante IKT-trender.

1.1.2 Videre studie: Automatisering av postmottak

Arbeidet med studien *automatisering av postmottak* startet høsten 2017, med en mindre prosjektgruppe. Planen var å gå videre med resultatene fra bredestudien, og anvende dem på en konkret problemstilling. Etter avklaringsamtaler med kunden, ble vi enige om følgende tolkning og presisering av oppgaven:

- Beskrive et samlebåndsystem som foretar automatisk utvelgelse på bakgrunn av data fra relevante sensorteknologier
- Vurdere hva som må til for at et slikt system skal fungere
- Hva kan Tolletaten få ut av dette?
- Gi en demonstrasjon av maskinlæring anvendt på data som er relevante for Tolletaten

Av sensorteknologiene som ble presentert i bredestudien, er det gjort et utvalg som vi anser som relevant for automatisering av postmottak. Noen sensorsystemer utelukker seg selv. Rombaserte sensorer, undervannsteknologi og biometri anses som uaktuelle i forbindelse med et innendørs system som håndterer gods. Radar brukes primært til deteksjon av objekter, noe som ikke er interessant all den tid vi forutsetter at vi har et fungerende samlebåndssystem hvor pakkene håndteres enkeltvis. Promptgamma aktiveringsanalyse tas ikke med i denne omgang, fordi teknologien anses som umoden. Dette er imidlertid en teknologi som kan være interessant å følge med på. Akustiske sensorer kan brukes avbildning – eksempelvis ultralyd og sonar. Det stilles imidlertid en del krav til

gjenstander som skal skannes med denne teknologien, og vi ser for oss at de fleste postpakker ikke oppfyller disse.

De resterende sensorteknologiene har vi tatt med videre i denne studien:

- Synliglyskameraer
- Røntgen
- Kjemiske detektorer
- Terahertz-teknologi
- Hyperspektral avbildning

1.2 Avgrensning

I dette arbeidet har vi ikke gått inn på hjemmelsgrunnlaget for å innhente informasjon om all pakkepost fra utlandet eller hvordan organiseringen av samarbeidet mellom post og tolletaten vil måtte utformes for å gjennomføre et slikt oppdrag. Begge deler vil kunne påvirkes av politiske vedtak rettet mot en eventuell endret trusselforståelse. I stedet har vi tenkt oss inn i en ikke-så-fjern framtid når de nødvendige hjemler og samarbeidsavtaler er på plass og det er bygget et nytt anlegg som integrerer de tjenester og prosesser som er nødvendige for både å utføre postens og tolletatens oppdrag.

Til dette framtidige anlegget kommer all pakkepost fra utlandet. Hvordan den kommer dit er utenfor vår vurdering. Vi gjør ingen forutsetning om integriteten til pakken i sin vei fra avsender til adressat. Noe informasjon vil være tilgjengelig om transportveien og denne kan danne grunnlag for å gjøre vurderinger av om pakken bør kontrolleres eller ikke.

Vi beskriver ikke behandlingen av data generert i prosessen. Implisitt er det forutsatt at krav til datalagring, -prosessering og -flyt er ivaretatt. Systemet som er skissert vil selv plukke ut pakker for kontroll basert på historiske data og aktuelle sensordata om pakken. Beslutning om å åpne pakken og gjennomføre tiltak basert på positive funn av ulovlige varer vil deretter ligge hos en toller.

Hovedfokuset i denne rapporten er sensorteknologi, og hvordan disse kan anvendes i forbindelse med automatisk utplukk av pakker for kontroll. Seleksjonsprosessen kan bruke direkte logikk, matematiske beregninger eller moderne mønstergjengjenningsmetoder basert på dyp læring på de aktuelle sensordataene. Den totale kunstige intelligensen må skreddersys basert på en detaljert forståelse av sensorene såvel som datagrunnlaget, det som skal oppdages. Vi kan ikke her gå nærmere inn på hvilke spesifikke metoder som vil være best egnet. Dette vil måtte gjøres i forbindelse med nærmere studier av sensorsystemene anvendt på reelle objekter (postpakker).

Et teknologisk komplekst system som automatisert postmottak vil kreve at undersystemer testes og funksjonelt verifiseres separat før det tas beslutning om bygging av anlegget. Vi har ikke i vårt arbeid gått inn på hvordan slike undersystemer bør testes og heller ikke hvordan hele anlegget skal testes og evalueres.

1.3 Leseveiledning

Denne rapporten har fire hovedkapitler: kapittel 2 Sensorteknologier for postmottak, kapittel 3 Eksempel på automatiseringsløsning, kapittel 4 Maskinlæring på sensordata fra postmottak og kapittel 5 Automatisering og personellbehov. Konklusjon og anbefalinger presenteres i kapittel 6, og Veien videre i kapittel 7.

Kjernen i denne rapporten er det skisserte eksemplet på et automatisert postmottak i avsnitt 3.1. Alle avgrensninger og forutsetninger er vurderinger som er gjort med utgangspunkt i dette.

Kapittel 2 lister opp sensorteknologier og gir en kort beskrivelse av disse og hvordan de kan anvendes i et automatisert postmottak. Sensorkapitlet kan brukes som oppslagsverk når man leser kapittel 3 om postmottak.

Denne rapporten kan leses som en egen enhet. Det refereres imidlertid ofte til breddestudien og maskinlæringsstudien, og disse kan med fordel leses først. Eventuelt kan de to refererte rapportene være aktuelle som oppslagsverk og bakgrunnsinformasjon til denne rapporten.

2 Sensorteknologier for postmottak

Dette kapitlet handler om sensorteknologier som kan være aktuelle for et automatisert postmottak. Vi har gjort et utvalg av sensorteknologiene som ble presentert i breddestudien, og henviser til denne for en mer detaljert gjennomgang av de forskjellige teknologiene.

I kapittel 3 om automatisering av postmottak tar vi utgangspunkt i at postsekker blir åpnet før skanningen av pakker begynner, slik at det er hver enkelt pakke og ikke hele postsekker som skannes. Sensorteknologiene i dette kapitlet er derfor beskrevet for denne anvendelsen.

Noen sensorteknologier er mest relevante for skanning av pakker før eventuell utvelgelse, mens andre er mer relevante for kontroll av pakker. I denne rapporten definerer vi for enkelthets skyld “skanning” som noe som skjer automatisk, mens “kontroll” er noe som gjøres manuelt av en operatør, og dette innebærer å åpne pakken.

I vårt eksempel på automatisering av postmottak i avsnitt 3.1, forutsetter vi at pakkene måles og veies. Sensorteknologi for dette er hyllevare, og presenteres ikke nærmere her.

2.1 Synliglyskamera

Kameraer som virker i den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret (og eventuelt også i nær-infrarød-området), er en moden teknologi som anvendes på mange områder i forbindelse med overvåkning og kontroll. I dag er dette en teknologi som forbindes mer med overvåkning av grenseoverganger enn med postmottak. I forbindelse med automatisering av prosesser i postmottak, vil det være aktuelt å innføre kameraer for avbildning av pakkene (eller evt. innhold i pakkene) i den synlige delen av det elektromagnetiske spekteret.

Det finnes et stort utvalg ulike teknologier for kameraer som er aktive i dette bølgelengdeområdet. Endel viktige parametre for valg av teknologi er kort diskutert i det følgende:

- **Oppløsning:** En kamerasensor består av en matrise av små lysmålere som essensielt kan telle hvor mange fotoner som treffer den aktuelle lysmåleren. Dersom sensoren består av mange slike lysmålere vil sensoren kunne produsere et bilde med en gitt *oppløsning*. Generelt ønsker man å ha høy oppløsning, men dette er bare gunstig dersom optikken er god nok og dersom *størrelsen* på hvert sensorelement er tilfredstillende, se neste punkt.
- **Pikselstørrelse (engelsk: pixel pitch):** Hvert element på sensoren teller hvor mange fotoner som treffer den i en kort tidsperiode. Fotonene ankommer sensoren ujevnt fordelt over tid. Dette medfører at *et lite sensorelement* som belyses for en kort tid vil motta et lite antall fotoner og signalet vil derfor variere over tid. Konsekvensen er at sensorer med små piksler vil generere bilder som er mer støyfulle. Støy er en viktig faktor som reduserer skarpheten i bildet.
- **Sensortype: farger eller gråtoner:** En sensor vil være følsom for en bredt spekter av lys. For at sensoren skal kunne 'se i farger' utstyres sensorelementene med røde, grønne og blå filtre i bestemte mønstre. Kostnaden er at filtre bare slipper gjennom fotoner som har bølgelengder

innen dette området. Antallet fotoner som treffer hvert sensorelement blir færre og støyen vil øke. Et annet problem er at hvert element på sensoren bare genererer en måling i enten rødt, grønt eller blått. For eksempel vil et sensorelement med et rødt filter måle den røde komponenten i lyset som faller på elementet, mens man må estimere de tilsvarende grønne og blå verdiene for dette elementet. I praksis vil derfor skarpheten reduseres noe.

Typisk vil man ønske seg sensorer med **mange og store** piksler for å få høy oppløsning lav støy. Store sensorer er dessverre dyre og krever større optikk som også er kostbart.

Lesbarheten av de genererte bildene må vurderes, herunder den maskinmessige lesbarheten.

Jo mer lys man kan benytte, og jo bedre de spektrale karakteristikkene til dette lyset er, jo billigere sensorer kan man velge. I et prosessanlegg for pakkehåndtering er det rimelig å anta at man kan sette opp kraftig og god belysning noe som vil redusere kravene til kameraene.

2.1.1 Kameraer til skanning av pakker

Vi anser synligsbilder som en helt essensiell del av et automatisert postmottak. Disse bildene vil være uvurderlige i grensesnittet mellom den automatiske databehandlingen og menneskene som skal utføre kontroll og ta endelige avgjørelser. Mennesker bruker først og fremst synet til å identifisere og gjenkjenne gjenstander, og bilder som er tatt i det synlige spekteret ligner mest på vår egen oppfatning av gjenstanden. Et bilde av pakken vil derfor være med på å identifisere gjenstanden på en måte som andre data ikke kan, uten at pakken eventuelt må skannes på nytt for å finne igjen den samme informasjonen. Bilder av adressefeltene på pakken kan brukes til identifikasjon av avsender og mottaker ved hjelp av tekst- og logogjenkjenning.

I valg av kameraer for denne anvendelsen er det rimelig å anta at man vil velge fargekamera da pakkens utseende fargemessig er en viktig del av identifiseringen. Videre vil det være svært viktig å velge oppløsning slik at skrift (inklusive håndskrift) på pakken lett kan leses, også av automatiske systemer. Det vil antagelig være lett å etablere godt kontrollerte belyningsforhold for avbildningen noe som letter kravene til kvalitene av kameraene.

2.1.2 Kameraer til kontroll av pakker

I forbindelse med kontroll, kan det være aktuelt å fotografere både utsiden av og innholdet i en pakke for dokumentasjon.

Kameraer som kan gjengi farger (og muligens andre deler av det elektromagnetiske spekteret, se nedenfor om hyperspektral) vil være et naturlig valg. Dersom den viktigste anvendelsen her er for dokumentasjon er det mulig at man kan benytte lavere oppløsning enn det som kreves for skanning av pakker. Hvis belyningsforholdet er dårliger enn i skanneprosessen vil det kunne føre til strengere krav til kameraene.

2.2 Røntgen og CT

Røntgenteknologi er mye brukt av Tolletaten i dag, og er godt kjent i dagens postmottak. Røntgen brukes rutinemessig til skanning av pakker for utvelgelse. Røntgenbaserte avbildningssystemer

opererer i det elektromagnetiske spekteret, typisk rundt bølglengder på 0.01 til 10 nanometer (i praksis er det stråling av typen *hard røntgen* i bølglengdeområdet 0.1 til 0.2 nanometer som benyttes). Mens kameraer for bruk i synlig lys observerer objekter ut i fra hvordan de reflekterer stråling i den synlige delen av spekteret observerer røntgensystemer transmisjonen gjennom objekter for å avbilde dem. Røntgenstrålenes evne til å trenge gjennom et stort utvalg av materialer gjør slike systemer egnet for å inspisere objekter innvendig.

Fotoner i røntgenområdet har så høye energier at de ioniserer atomer og ødelegger molekyllære bindinger. Av den grunn er de farlige for levende organismer og en rekke sikkerhetsforanstaltninger må være på plass for at slike systemer kan brukes i praksis.

CT er en utvidelse av den klassiske røntgenteknikken der objektet belyses med røntgenstråler fra et stort antal vinkler og sammenstilles til en tredimensjonal modell av innholdet i pakken.

Det finnes et stort utvalg ulike teknologier for røntgenskannere. Endel viktige parametre for valg av teknologi er kort diskutert i det følgende:

- En pakke som skal inspiseres må passere gjennom maskinen og en viktig parameter er derfor ganske enkelt størrelsen på pakker maskinen skal kunne arbeide med.
- En rekke skannere tillater at det tas bilder fra flere vinkler samtidig, også med flere ulike bølglengder. Avbildning fra flere vinkler gir bedre mulighet automatisk bildeanalyse og objektgjenkjenning.
- Typiske skannere genererer bilder med oppløsning på rundt 1000 rader av 1000 piksler. Jo høyere denne oppløsningen er, jo bedre. Et viktig hensyn å ta i denne sammenhengen er følgende: Man ønsker skannere med evne til å skanne både små og store pakker. Dersom man antar at en skanner kan ta pakker med opp til 50 cm høyde vil en skanner med 1000 piksler i høyden ha en oppløsning på 0.5 mm per piksel (vertikalt). Dette er antagelig nok til å tillate deteksjon av for eksempel piller. I det hele tatt er det viktig å kravstille egenskapene til skanneren ut fra hvilke objekter som det er ønskelig å dekte. Tester bør gjennomføres for å verifisere tilfredsstillende av krav.
- I en rekke skannere vil pakken belyses med røntgenstråling fra (minst) en side og en sensor på motsatt side vil måle hvordan strålene dempes gjennom pakken. Områder i pakken der strålene dempes mye blir mørke mens områder der strålene dempes lite blir lyse. En viktig parameter for detektoren er *hvor mange ulike nivåer av dempning* den kan skille mellom. Typisk vil en god skanner kunne måle 4096 ulike dempningsnivåer. Det er viktig at denne parameteren evalueres grundig med tanke på den effekten den har på etterfølgende automatisert behandling av data. Det er også mulig å plassere detektoren på samme side som strålingskilden og måle mengden tilbakespredt røntgenstråling (back scatter X-ray). Dette vil et annet bilde av innholdet enn ved gjennomlysning. Kombinasjonen av gjennomlysning og tilbakespredning av røntgen kan vurderes.
- Røntgenskannere leveres typisk med programvare som kan framstille bildene den genererer på måter som gjør dem enkle å tolke for menneskelige operatører. Ofte skjer dette ved ulike fargelegging etc. Dette kan være viktig for menneskelige operatører, men er av liten betydning for en automatisert bildetolkning.

2.2.1 Røntgen for skanning av pakker

Vi ser for oss at pakkene går på samlebånd gjennom et røntgenområde, hvor de skannes fra flere sider, slik at sannsynligheten øker for at hver gjenstand avbildes fra en vinkel som gjør den gjenkjennbar.

2.2.2 Røntgen for kontroll av pakker

Når en pakke er plukket ut for kontroll, kan det være aktuelt å skanne den for mulige farlige stoffer og gjenstander før den overlates til personell for kontroll. Her kan det være aktuelt med en mer finoppløst røntgen eller CT for å få mer informasjon om innholdet i pakken.

2.3 Hyperspektral avbildning

Hyperspektral avbildning kan brukes både i forbindelse med skanning av post og kontroll. Hvis utstyret kan detektere flere bølgelengder i det nærinfrarøde/infrarøde delen av spektret, vil det kunne brukes til å identifisere ulike kjemiske stoffer. Strålingen som fanges inn kommer fra overflaten til objektene. Pakken må åpnes for at det skal være mulig å inspisere innholdet med denne teknologien.

2.3.1 Hyperspektral avbildning for skanning av pakker

I forbindelse med hyperspektral skanning av pakker vil egenskaper ved innpakkingsmaterialet som ikke gjengis i synlig lys kunne oppdages. Ved hjelp av maskinlæring på slike sensordata kan det være mulig å gjenkjenne innpakkingsmaterialer som de store leverandørene bruker. En pakke som er merket med logoen fra en kjent og troverdig avsender, men med avvikende spektralkarakteristikk kan da merkes som mistenkelig.

2.3.2 Hyperspektral avbildning for kontroll av pakker

I forbindelse med kontroll, kan hyperspektral avbildning brukes til å skille materialer i originale merkeprodukter som vesker og klær, fra materialer i forfalskninger. Avhengig av hvilken del av spektret som sensoren er følsom for, kan et hyperspektralt kamera også brukes til delvis identifikasjon av narkotiske stoffer.

2.4 Kjemiske detektorer

Det finnes en rekke forskjellige kjemiske detektorer som på forskjellig vis, og med forskjellig behov for inn gripen fra en operatør, kan detektere kjemiske trusselstoffer. Noen av disse er beskrevet i breddestudien, og leseren henvises til denne for mer detaljert informasjon.

2.4.1 Kjemiske detektorer til skanning av pakker

Deteksjon av kjemiske stoffer i gassfase er vel etablert. Inne i en pakke som inneholder et ulovlig kjemisk stoff vil det være en konsentrasjon av dette stoffet som er vesentlig høyere enn i vanlig luft. Ved å få tilgang til gassen inne i pakken vil det være mulig å identifisere stoffet dersom det har tilstrekkelig høy konsentrasjon. En mulig metode for å hente ut gassen inne i en pakke er å plassere den i et kammer og legge på et undertrykk slik at gassen siver ut og samles opp. Alternativt er det mulig å komprimere pakken noe for å pumpe ut luften. Metoden som er skissert her er såvidt vi kjenner til ikke godt etablert.

2.4.2 Kjemiske detektorer til kontroll av pakker

Luftprøvetakingsmetoden ovenfor kan også brukes før man åpner pakken for kontroll, særlig dersom man mistenker at pakken inneholder meget helseskadelige stoffer, som for eksempel fentanyl. Tolletaten har i dag kjemiske detektorer som analyserer på prøver i væske eller fast fase som kan brukes etter at pakken er åpnet. Vi ser for oss at dette fortsetter, og at Tolletaten tar i bruk nye metoder etter hvert som de dukker opp og teknologien blir moden.

2.5 Terahertz

Terahertz er et relativt nytt sensorteknologirområde, hvor forskning og utvikling først skjøt fart på 1990-tallet. Nye kilder til terahertzstråling utvikles stadig og blir mindre og bedre. Ved terahertzspektroskopi måles strålingens refleksjon fra og/eller transmisjon i materialet for ulike bølglengder innenfor ett område av objektet, og resultatene fra dette sammenlignes med en database over tilsvarende målinger av forskjellige materialer. Ved å detektere stråling fra ulike punkter på objektet vil det dannes et bilde av objektet som kan relativt enkelt kan tolkes av et menneske. Forskjellige typer materialer vil da kunne vises som forskjellige gråtoner i bildet. De fleste innpakkingsmaterialer, som papir, papp, plast og tøy, er transparente for terahertz-stråler. Terahertz-teknologi kan derfor brukes til å oppdage eksempelvis metallgjenstander som er skjult av mykere materialer og brukes av denne grunn for eksempel på flyplasser og i fengsler for å lete etter skjulte objekter under klær. Både spektroskopisk og avbildende terahertz vil kunne tolkes av maskiner.

2.5.1 Terahertz til skanning av pakker

Terahertzkilder er i dag svake og krever relativt lang tid for sensoropptak. Som sensorteknologi er det foreløpig en mindre egnet kandidat for automatisk skanning av pakker med høy volumstrøm. Bruken vil derfor, i alle fall innledningsvis, være fokusert mot kontroll av pakker som allerede er flagget som mistenkelige ved bruk av andre modaliteter. Vi mener denne teknologien har en rekke interessante sider som gjør at den stadig bør vurderes for bruk også i sammenheng med skanning av postpakker.

2.5.2 Terahertz til kontroll av pakker

Terahertz-spektroskopi kan brukes til å gjenkjenne eksplosiver og andre illegale stoffer, som for eksempel narkotika. For å lykkes med dette må de kritiske stoffene ikke være pakket inn for godt. Dette kan gjøre det nødvendig å åpne pakker før anvendelse av denne typen skannere. Når dette er gjort har terahertz-baserte sensorer et betydelig potensiale for identifikasjon av ulike stoffer, se for eksempel [3], [4] og [5]. Når man har tilgang til stoffene vil også øvrige instrumenter for kjemisk deteksjon kunne brukes.

2.5.3 Begrensninger og krav til terahertz

Terahertz-avbildning og -spektroskopi er tidkrevende, og stiller en del krav til operatør og dataprosessering. Vi anser nytteverdien av denne teknologien til å være moderat i dag. Det er imidlertid en interessant teknologi som det vil være verdt å følge med på. Terahertz trenger gjennom lag av stoffer som papir, papp og tøy, mens elektrisk ledende materialer som metaller blokkerer terahertz-stråling. Terahertz fungerer best over korte avstander, noe som i utgangspunktet ikke er et hinder for bruk i postmottak, der man kan gå helt inn på objektet.

3 Eksempel på automatiseringsløsning

I dette kapitlet presenterer vi et eksempel på automatisering av postmottak, med forslag til sensorteknologier og utvelgelse basert på maskinlæring. Det skisseres noen forutsetninger med tanke på grensesnitt mot omverdenen (eksempelvis post og spedisjon), samt krav til teknologi.

Vi er ikke kjent med alle grensesnitt mot Tolletatens samarbeidspartnere, men har gjort noen avgrensninger og forutsetninger for å kunne utforme et helhetlig eksempel på automatisert postmottak.

14. mars 2017 besøkte FFIs tverrfaglige prosjektgruppe toll- og vareførselsseksjonen Alnabru og Postens godssenter Østlandsterminalen. Følgende beskrivelse skisserer vår forståelse av prosessene i forbindelse med postmottaket, som ligger til grunn for våre vurderinger.

All umanifestert utenlandspost kommer til Østlandsterminalen. Her jobber Posten og Tolletaten side om side. Pakker med sperre og dagens sjekkpost kommer direkte til toll. Annen utenlandspost kommer inn på et bånd til post. Det er korte avstander og helt åpent mellom post og toll. I post-avdelingen kan tollerne fritt gå bort til båndet og plukke ut pakker som de ønsker å kontrollere. Tollerne har også godt samarbeid med de post-ansatte som jobber ved dette båndet, slik at de kan være med på å se etter spesielle pakker. Ved enden av båndet i post-avdelingen er siste sjekkpunkt. Her står en person fra post og sjekker at eventuelle papirer er i orden, og hjelper til med å plukke ut pakker som toll er interessert i. Når dette sjekkpunktet er passert, går posten til sortering og sendes ut.

Pakker med sperre¹ og dagens sjekkpost kommer inn til toll. Her blir sekkene gjennomlyst med røntgen. Det er mye løfting og tungt arbeid. Røntgenbildene kommer opp på en skjerm og studeres av en toller. Noen pakker velges ut for kontroll. Det vil si at pakkene åpnes og inspiseres. Man ser spesielt etter tabletter og annet som kan se ut som legemidler. Det er et økende problem at ungdom bestiller prestasjonsfremmende midler fra utlandet. Disse stoffene kan være svært skadelige.

På våre befaringer hos toll ble det snakket om moduskataloger. Disse inneholder bilder og annen informasjon om pakker hvor man har funnet ulovlig innhold. I praksis holder tollerne seg oppdatert på mistenkelige pakker eller avsendere ved at de viser dem til hverandre og generelt har god kommunikasjon i det daglige arbeidet.

Ulovlig innførsel av varer omfatter blant annet legemidler, prestasjonsfremmende midler og forfalskede merkevarer. Sistnevnte regnes som verdens tredje største industri.

Videre i dette kapitlet presenteres vårt eksempel på automatisering av postmottak i avsnitt 3.1. I avsnitt 3.2 gjør vi noen antagelser om pakkevolum og hvordan dette vil være dimensjonerende for utformingen av et samlebånd. Informasjonsflyt og databehandling diskuteres i avsnitt 3.3. Sporing av pakkene er en forutsetning for denne prosessen. Dette omhandles i avsnitt 3.4.

Våre forutsetninger må vurderes på nytt med flere variabler og praktiske avgrensninger når postmottaket skal automatiseres. Noen temaer som må vurderes presenteres i avsnitt 3.5.

¹Sperre: Personer, bedrifter el.l. kan være registrert med sperre. Det vil si at all post til eller fra personen eller bedriften stoppes og kontrolleres.

3.1 Skisse over sensorer og nivå delt samleband

I dette underkapitlet skisserer vi et eksempel på mulig automatisering av postmottak, konkretisert som en variant av *samleband*, hvor pakker blir fraktet automatisk fra sensor til sensor. Vi legger ingen føringer for hvordan dette samlebandet skal fungere, og bruker begrepet "samleband" i ordets videste forstand, se også avsnitt 3.5.3.

Formålet med å samle inn sensordata slik som beskrevet i dette kapitlet, er å kunne bruke disse dataene i maskinlæring. Et datasystem som er trent med en mengde slike data kan brukes til automatisk utvelgelse ved at det kjenner igjen mønstre som er assosiert med beslag. Denne mønstergjenkjenningen – som er basert på maskinlæring – er en rask prosess som kan foregå i sanntid i det automatiske postmottaket. Kapittel 4 går mer i dybden på maskinlæring.

Vi gir først en enkel beskrivelse av samlebandet og grensesnittet rundt, avsnitt 3.1.1. Så beskrives selve automatiseringen og forslag til sensorer og flyt, 3.1.2.

3.1.1 Klargjøring for automatisk skanning

Det finnes flere mulige løsninger for automatisk prosessering av post. En kan for eksempel tenke seg at hele postsekker skannes, og at de åpnes sent i forløpet. Dette er en vurdering som må gjøres, i vårt eksempel tar vi utgangspunkt i at postsekkene åpnes før prosesseringen starter, og at hver enkelt pakke skannes for seg. Fordelen med dette er at man lettere kan få tilgang til informasjon om pakkens størrelse og vekt, adressat, frankering og annen spesifikk informasjon som ikke kan leses når pakken ligger i postsekken. Klargjøring for automatisk skanning vil i dette tilfellet bestå i alle oppgaver som fører til at pakkene ligger på samlebandet, klare for automatisk skanning. Dette kan for eksempel innebære å sortere pakkene og å legge dem på bånd med en viss avstand og en viss retning, avhengig av hvilke krav som stilles fra samlebandet. Noen eksempler på vurderinger som må gjøres på dette området presenteres i avsnitt 3.5.

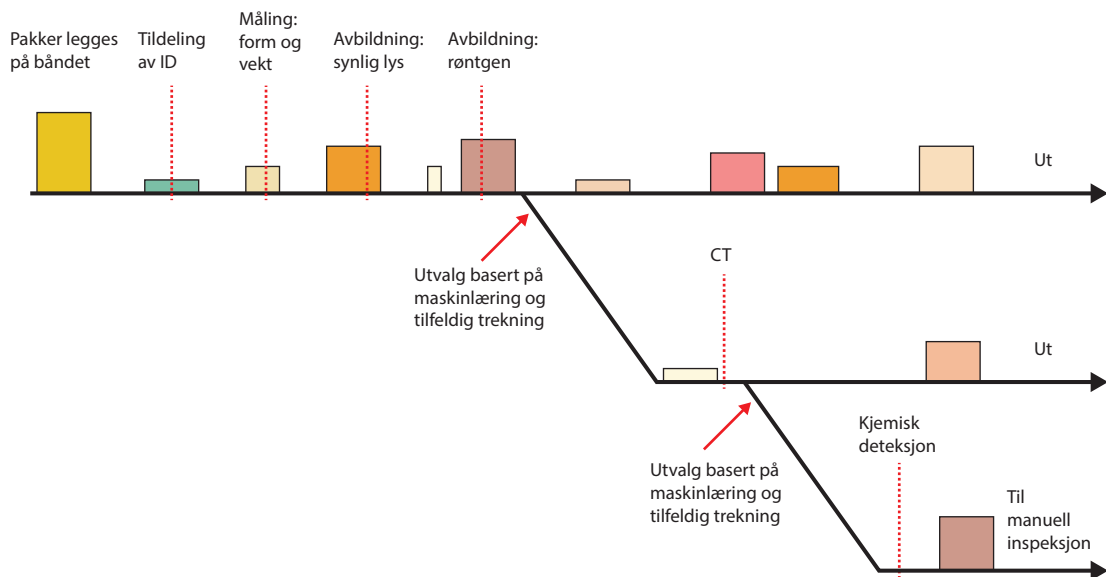
Når en pakke tas ut av postsekken, må den spores, slik at metainformasjon og sensordata følger den aktuelle pakken. Se avsnitt 3.4 om sporing.

Spesialpakker behandles manuelt. Disse kan være for store for samlebandet, eller ha en fasong eller tekstur som gjør dem uegnet for automatisk skanning. Se avsnitt 3.5.2 om noen vurderinger rundt spesialpakker.

3.1.2 Automatisk skanning av post

Når en pakke er klar for skanning, som beskrevet i avsnitt 3.1.1, føres den inn i det automatiske systemet. I vårt eksempel har vi valgt et samleband med automatisk prosessering i flere nivåer før manuell kontroll, som vist i figur 3.1

Prosessen som vises i figuren, beskrives nedenfor. På de stedene hvor samlebandet deler seg, er det resultatet fra mønstergjenkjenning (basert på maskinlæring) som bestemmer om en pakke skal klareres og sendes ut, eller om den skal sendes videre til neste nivå. I tillegg er det viktig med et



Figur 3.1 Eksempel på automatisert postmottak. Her med tre nivåer av automatisert skanning pluss manuell kontroll. Alle innsamlede sensordata benyttes til maskinlæring, sammen med informasjon om funn/ikke funn. Dette danner grunnlag for mønstergjenkjenningen og den automatiske utvelgelsen som foregår på hvert nivå av samlebåndet.

tilfeldig utvalg av pakker som velges ut for videre prosessering. I avsnitt 5.3 ser vi nærmere på dette temaet.

Vårt eksempel for automatisert postmottak skisseres her:

KLARGJØRING FOR AUTOMATISK PROSESSERING

- Postsekk åpnes.
- Informasjon om hvilken postsekk pakkene kom fra registreres.
- Pakker legges på båndet.

AUTOMATISK PROSESSERING, NIVÅ 1

- Hver pakke får tildelt en unik ID
- Pakken måles og veies.
- Pakken fotografes fra flere sider. Adressat og avsenderinformasjon avbildes.
- Pakken avbildes med røntgen fra flere vinkler.
- Prosessering av data fra nivå 1 velger ut noen pakker til videre skanning i nivå 2. Noen pakker blir også plukket ut tilfeldig. De resterende pakkene klareres og sendes ut.

AUTOMATISK PROSESSERING, NIVÅ 2

- Pakken kjøres gjennom en CT-scan
- Noen pakker “frifinnes” for mistanker fra nivå 1. Av disse gjøres det et tilfeldig utvalg av pakker som klareres og sendes ut. De resterende pakkene sendes til neste nivå.

AUTOMATISK PROSESSERING, NIVÅ 3

- Pakker som skal kontrolleres legges i et trykkammer for automatisert kjemisk deteksjon.
- Pakker som har gitt utslag på kjemisk deteksjon behandles særskilt. De resterende sendes til manuell kontroll.

KONTROLL

- Kontrolløren åpner og inspiserer pakken på vanlig måte, og bruker de hjelpemidler som han eller hun finner hensiktsmessig.
- Alle sensorbaserte målinger lagres med pakkens ID.
- Kontrollørens vurderinger lagres med pakkens ID.
- Basert på kontrollørens vurderinger, kan pakken stoppes eller klareres og sendes ut.

Uavhengig av hvordan man velger å utforme samlebandet, med tanke på sensorteknologier, sporing, transportløsning og antall nivåer, anser vi det som essensielt at det automatiske systemet selv gjør et utvalg ved enden av båndet. I vårt eksempel er utvalget basert på mønstergjenkjenning (maskinlæring) og tilfeldig utvalg. Tilfeldig utvalg omhandles nærmere i avsnitt 3.3.3 og mer grundig i maskinlæringsstudien.

For at det skal være mulig å gjøre et utvalg på bakgrunn av mønstergjenkjenning, er det nødvendig at både datainnsamlingen (eksempelvis fotograferingen) og dataprosesseringen går fort, slik at resultatet er klart når pakken kommer til veiskillet. Det vil si at det er tatt en avgjørelse om hvorvidt pakken skal klareres og sendes ut, eller om den skal sendes videre til neste nivå.

På et eventuelt “nivå 2” av automatisk skanning vil det i vårt eksempel være færre pakker som skal skannes, idet en andel av pakkene ble klarert og sendt ut av Tolletatens system på nivå 1. Nivå 2 kan dermed brukes til skanning som tar lengre tid, eksempelvis CT.

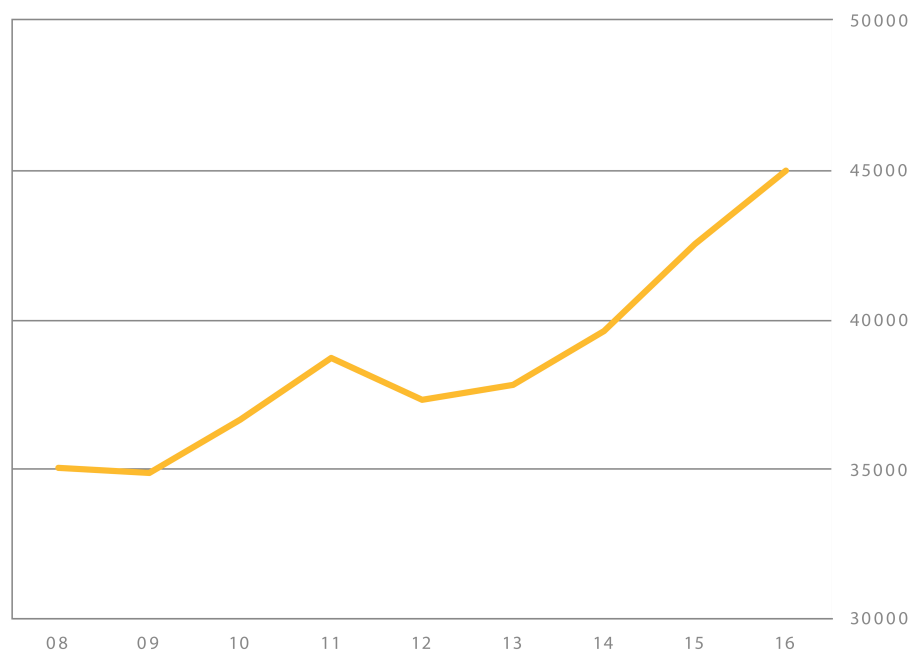
I vårt eksempel har vi valgt å bruke en kjemisk detektor på det siste nivået, for å sjekke pakkene for enkelte farlige stoffer før de overlates til personell for kontroll.

I avsnitt 2.4 har vi beskrevet en noe umoden sensorteknologi som vi anser som en interessant fremtidig mulighet for dette formålet: Ved å legge pakken i et trykkammer og senke trykket, kan gasser fra pakken sive ut, slik at denne kan analyseres, og pakker som man finner skadelige stoffer i kan da behandles særskilt. På denne måten kan personene som skal kontrollere pakken beskyttes mot farlige stoffer.

Når en toller får en pakke til kontroll, følger det med sensordata og bearbeidet informasjon. I praksis vil dette si at pakken har en unik ID som tolleren kan skanne eller punche inn på sin arbeidsstasjon, slik at all relevant informasjon kommer opp. Her bør det utheves hva det var som gjorde at pakken ble stoppet av det automatiske systemet. Et eksempel kan være et røntgenbilde hvor det er funnet noe som ser ut som piller. Et annet eksempel kan være at systemet har klart å tolke navn og adresse til mottaker, og at det er registrert en sperre på denne. Tolleren utfører sin kontroll, som også kan omfatte flere sensorteknologier, som f.eks. kjemisk deteksjon eller hyperspektral avbildning. Alle resultater og ny informasjon lagres med pakkens ID. Les mer om sporing i avsnitt 3.4

3.2 Volum på pakkestrøm

En svært viktig og dimensjonerende faktor i forbindelse med automatisering av pakkemottak er naturligvis **mengden pakker** man må håndtere. Denne mengden varierer fra dag til dag og når maksimale verdier i forbindelse med årvisse hendelser som Black Friday, julen og så videre. Et grovt estimat for daglig antall pakker som må håndteres er 150.000 pakker. Dette tilsvarer et årlig pakkevolum på ca. 50 millioner. Dette tallet har vokst jevnt de siste årene, primært på grunn av økende netthandel. Figur 3.2 viser utviklingen i årlig pakkevolum de siste årene. Det er rimelig å anta at den økende trenden vil vedvare i noe tid framover gitt den stadig økende netthandelen.



Figur 3.2 Historisk utvikling av Postens pakkevolum (fra [6]). Verdier oppgitt i tusen pakker.

Se avsnitt 3.5.3 for videre vurderinger om samleband i relasjon til dette pakkevolumet.

3.3 Informasjonsflyt og databehandling

Vi finner det hensiktsmessig å dele informasjonen om en pakke inn i tre kategorier:

- Forhåndsinformasjon
- Etterretningsinformasjon
- Sensorinformasjon

Forhåndsinformasjonen er den informasjonen som kommer med postsekken til postterminalen. Her kan det blant annet finnes informasjon om opprinnelsesland, transportmåter og transittsteder. Forhåndsinformasjonen utgjør sammen med etterretningsinformasjon det vi kaller metainformasjon,

altså all informasjon om pakken som kommer utenfra, til forskjell fra informasjon som genereres i postmottaket.

Sensorinformasjon er de dataene og den bearbejdede informasjonen som genereres i postmottaket. Vi definerer *sensordata* som rådataene fra sensorene, mens *sensorinformasjon* i tillegg omfatter resultater fra databehandlingen. Eksempler på det siste kan være tekst fra tekstgjenkjenning av adressefeltet på en pakke, eller et røntgenbilde hvor datasystemene har funnet et brett med piller.

Det er viktig at alle avgjørelser med hensyn til hvorvidt en pakke til slutt skal åpnes for inspeksjon eller ikke tas med utgangspunkt i den til enhver tid største mulige mengde tilgjengelig informasjon. Systemer som tar sekvensielle avgjørelser basert på hver enkelt informasjon isolert vil lett føre til uheldige avgjørelser. Et eksempel illustrerer dette best: Dersom en pakke avbildes i røntgen og et mønster av sirkulære objekter oppdages er det lett å se for seg at et system som baserer seg **kun** på dette røntgenbildet vil sende pakken videre for åpning (under en antagelse om at pakken inneholder piller). Dersom avgjørelsen tas med utgangspunkt i kunnskap om ikke bare røntgenbildet, men også om pakkens dimensjoner, vil man kanskje oppdage at pakken er for tynn til å inneholde piller. Det å kombinere informasjon av ulike typer og formater er ikke en triviell prosess og vi vil kommentere dette videre i avsnitt 4.2.

3.3.1 Personinformasjon

Vi ser for oss at det er hver enkelt pakke som er det sentrale elementet i denne prosessen. Vi ønsker å finne ut om pakken inneholder noe ulovlig. Her kan etterretningsinformasjon eller sperrer spille en viktig rolle. Hvis det finnes etterretningsinformasjon eller sperrer som tilsier at man ser etter pakker til eller fra en bestemt person, kan det automatiske systemet settes til å velge ut pakker som samsvarer med dette. Personinformasjon trenger imidlertid ikke å lagres. Hvorvidt resultatet fra kontroll av slike pakker skal føres tilbake inn i maskinlæringsystemet, må vurderes.

3.3.2 Sanntidsprosessering

For å kunne bruke sensordata til utvelgelse, må de prosesseres i sanntid, slik at man får ut informasjon som kan brukes i utvelgeseprosessen. Det kan være aktuelt å plassere sensorene i rekkefølge ut ifra hvor lang tid det tar å prosessere dataene. Det er når pakken kommer til enden av samlebåndet at en avgjørelse skal tas. Denne avgjørelsen kan tas på bakgrunn av funn i sensorinformasjonen (eksempelvis piller eller våpen), eller det kan prosesseres på heterogene data etter hvert som det genereres større datasett med sensorinformasjon for pakker med og uten beslag. For å få til dette, bør alle data og bearbejdet informasjon lagres, slik at dette kan brukes til prosessering i ettertid. Når en toller merker en pakke med "funn" eller "ikke funn", bør så mye informasjon som mulig lagres, slik at dette kan brukes til maskinlærings, statistikk og dokumentasjon. Se maskinlæringsstudien for mer informasjon om statistikk og maskinlærings.

3.3.3 Maskinlærings og tilfeldig utvalg

I vårt eksempel på automatisert postmottak, skisserer vi tre nivåer med automatisk skanning før den manuelle kontrollen. I hver overgang mellom nivåer, tas det en avgjørelse om hvordan pakken

skal behandles videre. Denne avgjørelsen tas på grunnlag av datamaskiners beregninger. Disse kan imidlertid bare finne kjente mønstre. Det vil si at systemet må ha lært at et visst mønster er korrelert med beslag. Det vil fortsatt være mulig å lure systemet ved for eksempel å pakke varene annerledes, og det vil finnes ulovlig innhold som forekommer såpass sjelden, eller ligner så mye på lovlig innhold, at maskinene ikke lærer å kjenne dem igjen. Det vil derfor være nødvendig med et tilfeldig utvalg av pakker som sendes til kontroll, uavhengig av hvorvidt det automatiske systemet finner noe mistenkelig i pakken. Resultatene fra kontroll av disse pakkene brukes til oppdatering av maskinlæringen, og vil være viktige bidrag til å finne nye mønstre, slik at systemet kan gjenkjenne disse en annen gang. Resultatene fra disse randomiserte stikkprøvene vil også være viktige for å kunne si noe om den reelle forekomsten av ulovlig vareførsel, i den grad disse oppdages i den manuelle kontrollen. Ulovlig vareførsel som ikke oppdages ved kontroll, vil heller ikke gå inn i statistikken eller maskinlæringen. Maskinlæringsstudien går mer i dybden på dette temaet.

3.4 Sporing

Så lenge en pakke er i postsekken, finnes det informasjon om hvor den kommer fra og hvordan den er fraktet. Postsekken er merket, og informasjonen om postsekken gjelder implisitt for alle pakkene som er i sekken. Når pakken tas ut av postsekken, finnes det ikke lenger noen direkte link mellom denne forhåndsinformasjonen og hver enkelt pakke. Så lenge alle pakker ligger på et bånd i en bestemt rekkefølge, kan dette gå bra. Man kan vite at sensordata fra eksempelvis røntgen og synliglyskamera tilhører samme pakke fordi de er tatt rett etter hverandre, i samme rekkefølge som pakkene ligger på båndet. Et løpenummer er i prinsippet nok til å holde orden på dette. I et mer komplisert system, blir det imidlertid fort behov for en noe mer robust identifisering av pakkene, slik at tilhørende data lages riktig. Gode rutiner for ID-merking og lagring av data er en nødvendig forutsetning for automatisering av postmottak.

Mulige måter å ID-merke pakkene på kan være løpenummer, RFID, strekkoder på transportbånd eller merkede kasser som pakkene legges i.

3.4.1 Løpenummer

Et løpenummer vil i prinsippet kunne være nok til å identifisere en pakke og dens tilhørende sensordata og metainformasjon, så lenge pakkene ligger på et transportbånd og prosesseres i en gitt rekkefølge. En slik enkel løpenummeridentifikasjon vil kunne fungere i den automatiserte delen av postmottaket. Alle sensordata vil tagges med løpenummeret til pakkene, mens pakkene selv ikke får noen form for fysisk merking. Det er kun rekkefølgen på pakkene som linker de fysiske pakkene til den løpenummer-merkede informasjonen.

Når pakkene kommer til det punktet hvor manuelle prosesser tar over, vil det imidlertid kunne oppstå behov for en noe mer robust merking av pakkene, slik at man ikke er avhengig av å behandle pakkene i en gitt rekkefølge. Det kan da være behov for en mer entydig link mellom pakkene og tilhørende informasjon.

3.4.2 RFID

Radio Frequency Identification (RFID) er en teknologi som gjør det mulig å spore gjenstander ved hjelp av en liten brikke eller et klistremerke som festes på gjenstanden. Denne brikken inneholder en antenne som gjør at den kan ta imot og svare på radiosignaler fra en sender. En slik brikke kan være passiv, slik at den ikke trenger batteri. En avleser sender ut et radiosignal og detekterer svaret som da blir sendt fra brikken. Det er ikke nødvendig med fri sikt mellom brikken og avleseren. Avleseren oppdager brikken innenfor en viss avstand, som bestemmes av frekvensområde og teknologivalg.

3.4.3 Strekkoder på transportbånd

Så lenge en pakke ligger på et transportbånd, kan den assosieres med plasseringen på båndet. Dette kan løses med å ha ID-merker – for eksempel i form av strekkoder – på selve båndet, som leses av hver gang pakken skannes, slik at all informasjon om pakken assosieres med denne strekkoden.

3.4.4 Kasser eller roboter med egen ID

En måte å forenkle samlebåndsbehandling og sporing av pakker på, kan være å putte hver pakke i en kasse som har en egen ID. Automasjon og fysisk håndtering pakkene kan gjøres betydelig enklere med en slik standard løsning. Hvis kassene har en egen maskinlesbar ID, vil også pakken som ligger oppi kunne identifiseres med denne ID-en så lenge den kan assosieres med denne kassen.

På samme måte kan roboter som håndterer pakker enkeltvis merkes med en unik ID.

3.4.5 Hybrid løsning

Det kan være fordeler og ulemper ved alle springsteknologier, og en mulig løsning kan være å kombinere dem.

Kostnaden ved RFID kan være betydelig, særlig hvis alle pakker skal spores på denne måten. Hvis vi tar utgangspunkt i 150 000 pakker i døgnet og en pris på ca 10 øre per RFID-brikke, ser vi på en kostnad på rundt 5 millioner kroner i året.

Hvis det er mulig å gjenbruke brikkene, vil det naturligvis stille seg annerledes. Løpenummer og strekkoder kan være kosteffektive, men man risikerer å miste assosiasjonen mellom pakken og informasjonen når pakken behandles manuelt, og det ikke finnes en fysisk merking på pakken. En kasse med egen ID som følge pakken kan løse utfordringene som er skissert over, men de kan gjøre det vanskelig å avbilde pakken, og det er også her fare for å miste assosiasjonen mellom pakken og informasjonen.

Det kan være flere måter å kombinere disse metodene for å få en optimal løsning. Det kan for eksempel brukes en løpenummerløsning eller strekkoder på et transportbånd i den automatiske delen av systemet, og en mer fysisk merking med RFID eller ID-merket kasse når pakken skal kontrolleres manuelt.

3.5 Vurderinger som må gjøres

I våre skisser av automatisert postmottak, har vi gjort noen forutsetninger som må vurderes. Vi har samlet noen av disse her, og diskuterer litt rundt problemstillingene.

3.5.1 Skanning av enkeltpakker eller hele postsekker

Vi har lagt til grunn at alle pakker skannes individuelt, i motsetning til å kjøre hele postsekker gjennom deler eller hele den automatiske skanningen. Tanken bak dette er at det skal være mulig å skaffe mest mulig informasjon om hver enkelt pakke. Det er for eksempel ikke mulig å ta et bilde av adresseetiketten på en pakke inni postsekken. Det antas også å ikke være enkelt å plukke ut riktig pakke av en postsekk, selv om man har tatt CT av den og vet hvor i sekken det ulovlige innholdet befinner seg.

Skanning av hele postsekker vil imidlertid gjøre forarbeidet enklere, og det vil være behov for færre parallelle linjer og sensorer. Det vil for eksempel være uaktuelt med synliglyskamera i den automatiske prosessen. Vi ser for oss at det i en slik prosess kun vil være CT og kjemisk deteksjon som er aktuelle for automatisk skanning.

Klargjøringsprosessen vil være mye enklere hvis man skanner hele postsekker. Det er på ingen måte trivielt å åpne alle innkomne postsekker og legge pakkene på et samleband. Mer om dette i avsnitt 3.1.1.

3.5.2 Spesialpakker

Noen pakker vil falle ut av den automatiske linjen av forskjellige årsaker. Noen pakker kan være for store eller for små, eller ha en form som gjør dem uegnet for automatisk prosessering. Det bør finnes rutiner for hvordan disse skal håndteres. De bør behandles likt som de andre pakkene, mhp. skanning og kontroller, og sjansen for å bli valgt ut til kontroll bør være like stor for spesialpakker som for andre pakker.

Hvilke pakker som behandles som spesialpakker vil kunne endre seg over tid, etter hvert som man finner nye og bedre løsninger for automatisk skanning. Jo høyere krav man stiller til pakkene om automatiserbarhet, jo færre pakker vil tilfredsstille kravene, og tilsvarende flere pakker vil måtte behandles særskilt som spesialpakker.

Det kan være ønskelig, men vanskelig å stille direkte krav til avsendere og speditører når det gjelder form på og forhåndsinformasjon om pakken. På sikt kan det imidlertid vise seg at pakker som kan prosesseres automatisk kommer fortere frem. Med god informasjon om formkrav for automatisk prosessering ut til speditørene og de store leverandørene, antas det at disse vil følge opp formkravene for å kunne yte best mulig service til sine kunder.

3.5.3 Samleband

Det er lett å tenke på tradisjonelle transportbånd når vi snakker om samleband. Det finnes imidlertid også helt andre typer transportsystemer som kan løse de samme oppgavene. Eksempler på slike

systemer er kjøretøy/roboter og skinner i taket. Den valgte transportløsningen må kunne tilfredstille i alle fall følgende krav:

- Pakken må kunne avbildes optisk fra alle sider. Hvis den bare skal avbildes på “interessante sider”, må det stilles krav til identifikasjon av disse sidene og eventuell rotasjon av pakken slik at de kan avbildes.
- Systemet må kunne føre pakken fram til en rekke ulike sensorer – for eksempel en røntgenskanner – på en slik måte at denne sensoren kan gjøre den ønskede avbildningen.

Antar vi som antydnet i avsnitt 3.2 et daglig pakkevolum på 150.000 pakker, betyr dette at vi må kunne prosessere grovt 2 pakker i sekundet i dag. Dette antallet kan øke noe i framtiden. Det er rimelig å anta at dette volumet krever flere parallelle prosesslinjer.

Se også avsnitt 3.5.4 om sensorteknologi og antall samlebånd.

3.5.4 Sensorteknologi

Det stilles krav til hastighet i alle ledd, og dette gjelder også for sensorteknologien som skal brukes. Det er imidlertid viktig at hastigheten ikke går på bekostning av kvaliteten. Det vil ofte være en avveining mellom tidsbruk og kvalitet på sensordataene. Avgjørelser om teknologi og kravspesifikasjon bør gjøres i samarbeid med dem som skal utvikle algoritmene for automatisk prosessering og dem som skal utføre analyser manuelt.

Som nevnt i avsnitt 3.5.3 kan det være aktuelt med flere parallelle samlebånd for å kunne prosessere det nødvendige antallet pakker per sekund.

For noen sensorteknologier kan det være enkelt å skanne en pakke i løpet av et brøkdels sekund, mens for andre kan det være behov for mer tid. Det vil da måtte gjøres en avveining mellom blant annet sensorteknologi og tidsbruk, datakvalitet, og antall parallelle bånd. Det vil si at hvis sensorene trenger lang tid for å generere data av god kvalitet, vil det være behov for flere parallelle bånd – og dermed også flere sensorer – enn hvis man velger raskere sensorløsninger. Omvendt kan hastigheten på samlebåndet og antall bånd sette begrensninger for valg av sensorteknologi.

4 Maskinlæring på sensordata fra postmottak

En rekke sensorer som kan tenkes brukt for inspeksjon av pakker langs et samlebånd genererer data som best kan beskrives som *bilder*. Dette gjelder naturligvis kameraer som virker i det synlige området av det elektromagnetiske spekteret, men også røntgenutstyr og CT gir data som kan betraktes som bilder.

Andre sensorer vil generere data på helt andre formater (kjemiske sniffere og Terrahertz skannere for eksempel), i dette kapitlet vil vi imidlertid fokusere på behandling av data som foreligger som bildeinformasjon.

Analysen av denne typen data, ofte omtalt som bildebehandling (engelsk *image processing*) er en egen fagdisiplin med røtter langt tilbake i tid. En viktig trend innen denne fagdisiplinen har i de siste årene vært bruk av nevrale nett for å utføre en rekke bildebehandlingsoppgaver. Disse metodene omtales ofte som *deep learning* metoder og i den siste tiden har disse metodene vist svært god ytelse på en rekke komplekse oppgaver innen bildebehandling.

Et nevralt nett av denne typen består av en rekke lag, der hvert lag observerer enten dataene som mates inn (det første laget), eller resultatene fra forutgående lag. Det siste laget produserer data som gjør det mulig å tilordne en eller annen tolkning til dataene som mates inn. Et klassisk eksempel er nett som er trent opp til å gjenkjenne bilder av håndskrevne tall, det første laget leser inn en beskrivelse av bildet som skal analyseres, og det siste laget produserer en verdi mellom 0 og 9 som gjør det mulig å lese av hvilket tall nettet mener bildet viser.

Når disse nevrale nettene omtales som *dype* (som i *deep learning*) er det bare en referanse til antallet lag i et slikt nett. Nevrale nett brukt for komplekse anvendelser innen bildebehandling kan ha mange titalls lag og de omtales derfor som *dype* nevrale nettverk.

Hvert lag i et slikt nett er en kompleks struktur som beskrives ved et stort antall parametre. Et moderne nevralt nett kan til sammen omfatte mange millioner parametre, og den store utfordringen ved bruk av nevrale nett er å lykkes med å stille inn disse parametrene på en slik måte at nettet produserer et fornuftig resultat gitt dataene som skal analyseres.

Valget av parametre skjer automatisk ved hjelp av tilpassede metoder. Denne prosessen omtales ofte som *trening* av nettet og er en iterativ prosess der nettet gradvis stilles inn til å gi riktig svar gitt et bilde som skal analyseres.

For å lykkes med en god trening av nettet er det normalt nødvendig å ha relativt store mengder såkalte treningsdata. Dette er bilder der 'svaret' er kjent slik at man kan bruke disse bildene til å trene opp riktig respons fra nettet. Disse dataene omtales ofte som nettets *treningsdata*. Slike data er kritiske for å bygge gode nett og i framtiden vil det å ha tilgang til slike datasett v re svært viktig. Et eksempel på et slikt treningssett kunne være bilder av håndskrevne sifre med ekstra informasjon laget av et menneske som sier *hvilket* tall hvert bilde viser.

Vi mener at bildebehandling basert på nevrale nett har et stort potensiale for tolletaten. Nevrale nett viser ofte en ytelse fullt på høyde med hva mennesker klarer å yte. Dessuten vil det for tolletatens del være en enkel, om enn tidkrevende, prosess å skaffe store mengder treningsdata. Dersom man

for eksempel ser for seg en oppgave bestående i å avgjøre om et røntgenbilde av en pakke viser piller ville man måtte samle et betydelig antall bilder der man var sikker på at pakken som var avbildet inneholdt piller av et eller annet slag. Tilsvarende måtte man skaffe et lignende antall bilder av pakker der man var sikker på at det ikke forekom piller. Disse bildene vil så kunne brukes til å trene opp et nevralt nett som kunne analysere et røntgenbilde av en pakke og si om det var sannsynlig at den avbildede pakken inneholdt piller.

I det neste avsnittet vil vi demonstrere bruken av et slikt nett for å lete etter våpen i postforsendelser.

4.1 Eksempel: Finne en pistol i røntgenbilder

Vi vil i dette avsnittet demonstrere bruk av nevrale nett for å finne ulovlig innhold i postpakker. Vi vil for dette formålet bruke bilder fra en database over røntgenbilder av pakkeinnhold som er tilgjengelig på nett (se <http://dmery.ing.puc.cl/index.php/material/gdxdxray/>). Vi vil ikke her gå inn på det totale innholdet i denne databasen, men påpeke at den inneholder et betydelig antall bilder tatt med røntgen av bagasje og pakker som inneholder ulike våpen så som kniver og pistoler.

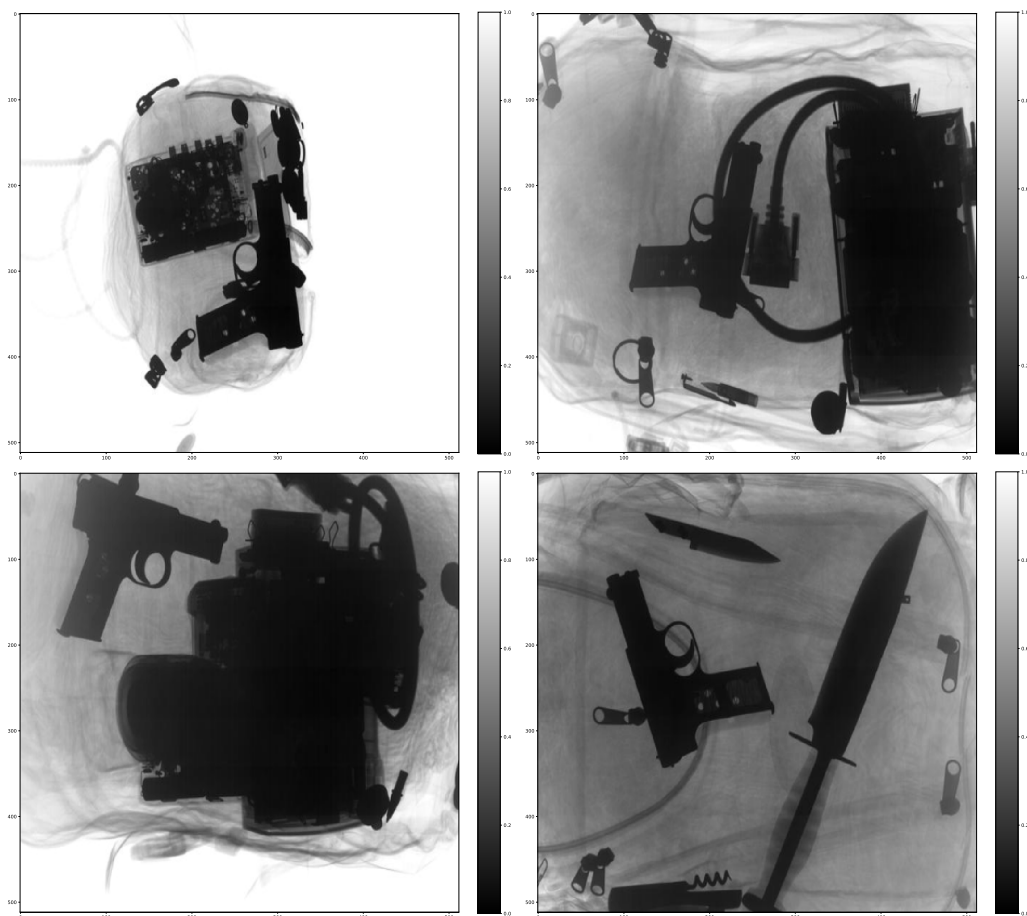
Et lite utvalg av innholdet i disse bildene er vist i figur 4.1. Vi velger nå et lite subsett av disse bildene (44 bilder til sammen) og lager for disse spesifikke bildene en maske som viser hvor pistolen befinner seg i bildet. Det er denne masken som i neste omgang vil bli brukt for å trene opp nettet til å lage sine egne masker. To slike bilder med tilhørende masker er vist i figur 4.2.

Vi bruker et nevralt nett av typen *u-nett*. Arkitekturen til dette nettet er vist i figur 4.3. Det er essensielt tre operasjoner som skjer i dette nettet:

- 2D konvolusjon: Ved hjelp av 2D konvolusjoner trekkes det ut egenskaper fra det opprinnelige bildet som senere kan aggregeres videre slik at en forståelse av innholdet i bildet kan etableres.
- Max pooling: Blant egenskapene i et vindu av størrelse 2 ganger 2 piksler velges den mest framtrepende egenskapen som representant for dette vinduet. Denne operasjonen gjør informasjonen mer kompakt.
- 2D oppkonvolusjon: Kan betraktes som den motsatte operasjonen av 2D konvolusjon. Pakker ut aggregerte egenskaper og bygger opp et bilde.

Flyten gjennom dette nettet er slik at informasjon først gjøres mer kompakt og en overordnet forståelse av bildet etableres. Deretter bygges det med utgangspunkt i denne kompakte informasjonen opp et nytt bilde som viser hvor det ettersøkte objektet befinner seg (se for eksempel [7] og [8] for mer detaljer).

Etter å ha trent opp dette nettet på de 44 treningsbildene er nettet i stand til å finne pistoler i bilder det aldri har sett før. Dette er illustrert i figur 4.4. Det øverste bildet i denne figuren viser et våpen som er relativt godt isolert fra andre objekter i bildet. I dette eksemplet ville antagelig tradisjonelle og enklere metoder fra bildebehandlingen ført fram for å finne pistolen. Det midterste bildet er vesentlig mer krevende siden pistolen overlapper med andre objekter, og det siste, nederste, bildet er svært komplisert ettersom pistolen har så dårlig kontrast til sine omgivelser.

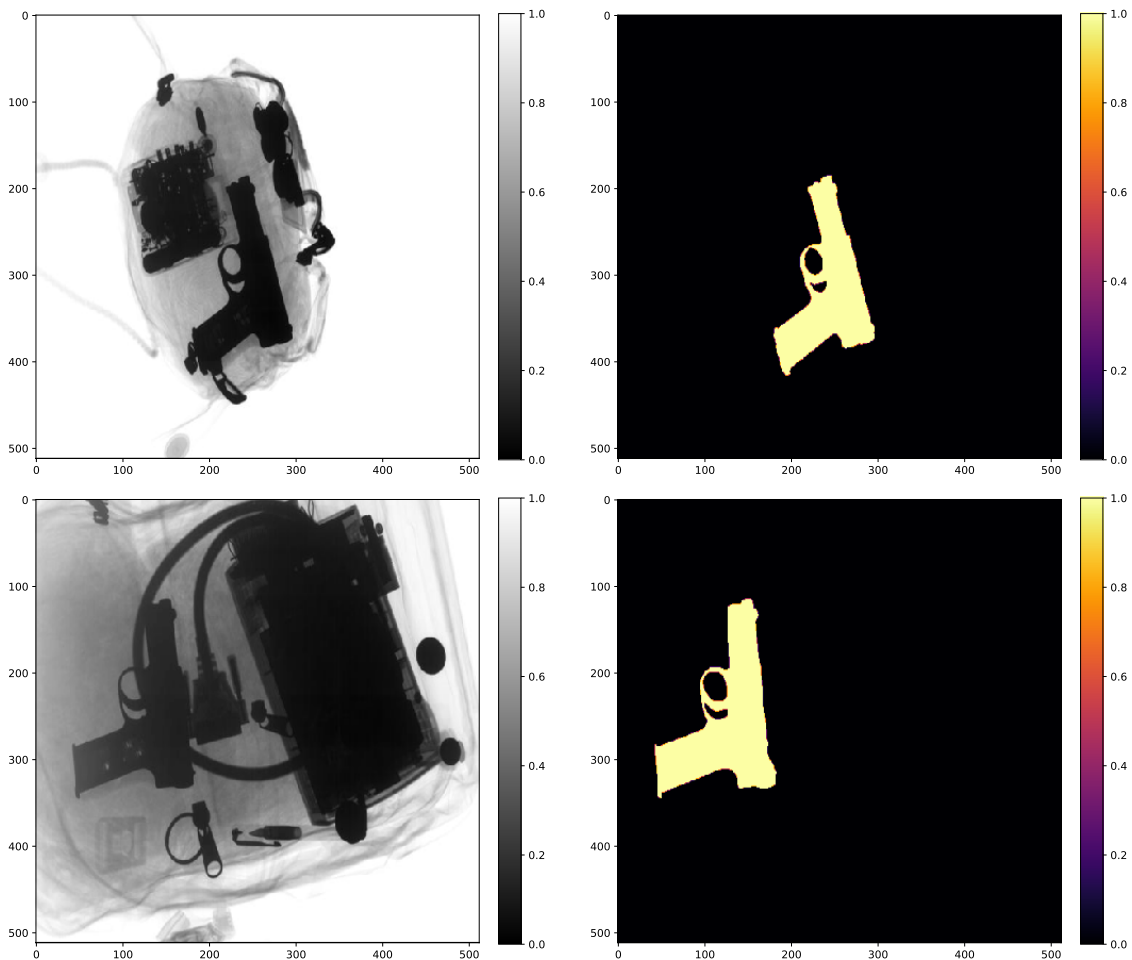


Figur 4.1 Ulike bilder hentet fra GDXray datasettet som viser våpen.

Vi poengterer at denne enkle illustrasjonen på ingen måte representerer den fulle ytelsen man kunne forvente fra et slikt nett dersom det hadde vært mer data tilgjengelig samt mer tid til å lage et større treningssett. Vi mener allikevel at de tre resultatene fra figur 4.4 viser potensialet til disse metodene. Mens treningen av slike nettverk er tidkrevende vil det å anvende dem for å finne predefinerte objekter kunne gå svært fort slik at de har et betydelig potensiale for bruk i skanning av store mengder pakker.

4.2 Maskinlæring på heterogene data

Som vist i figur 3.1 ser vi for oss at det langs samlebåndene i et postmottak kan stå sensorer av ulike typer på en rekke ulike steder. Sensorene vil typisk være plassert slik at de som raskest kan generere data står tidlig i samlebåndet, mens sensorer som bruker mer tid for å generere data vil stå lenger 'nedstrøms' i samlebåndet der det allerede har skjedd en innledende sortering av pakkene. På flere nivåer i samlebåndet vil derfor en pakke kunne klareres, det vil si sendes ut for levering til mottaker, eller sendes videre til nye undersøkelser langs samlebåndet. På hvert slikt nivå vil en prosess basert på maskinlæring måtte ta en avgjørelse angående klarering av pakken kontra videre undersøkelser.

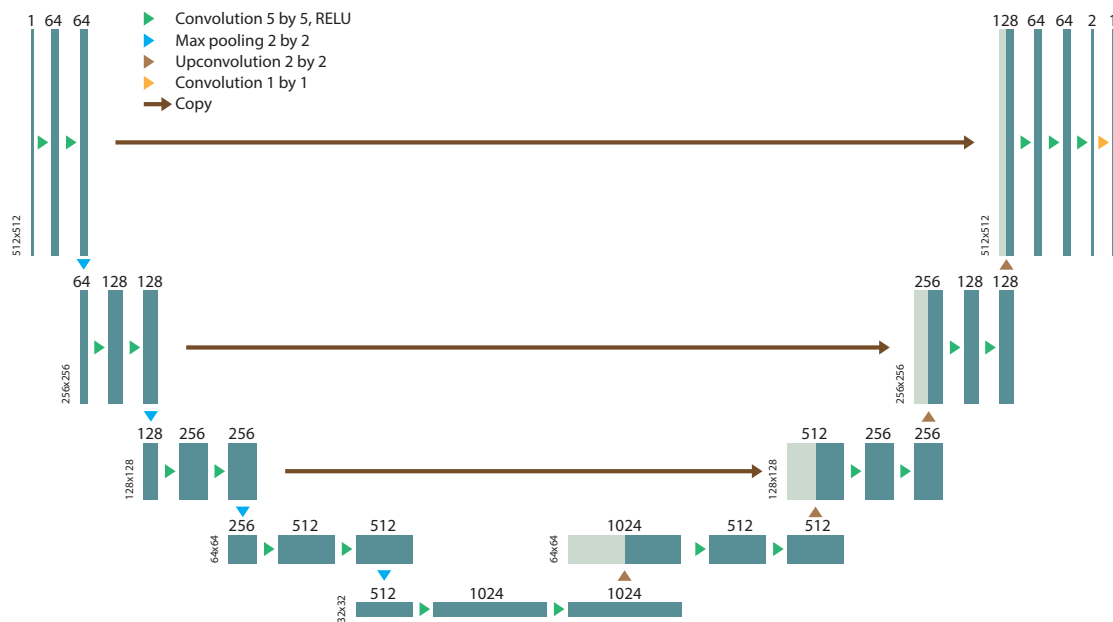


Figur 4.2 To bilder hentet fra GDxray datasettet som viser pistoler sammen med korresponderende masker som viser hvor pistolen befinner seg.

Disse avgjørelsene vil måtte skje med utgangspunkt i data fra ulike sensorer. Den første avgjørelsen kan for eksempel skje med utgangspunkt i kunnskap om hvor pakken kommer fra, hvor den skal, vekt, ytre mål og et røntgenbilde. All informasjonen som vil være tilgjengelig på dette første nivået bør benyttes for å avgjøre om en pakke skal sendes videre for ytterligere undersøkelser. Dersom røntgenbildet antyder at pakken inneholder piller, mens de ytre dimensjonene ikke stemmer med denne antagelsen er det kanskje naturlig at pakken sendes ut for levering. Dersom pakkens mål og vekt derimot er compatible med at pakken kan inneholde piller er dette antagelig en indikasjon på at pakken bør sendes videre i systemet for ytterligere undersøkelser.

På alle disse nivåene må avgjørelser kunne tas med utgangspunkt i *heterogene data*. Med heterogene data mener vi her data som kan ha ulike former og opphav. Noen eksempler forklarer dette best:

- Dersom et system kan analysere et røntgenbilde av en pakke (data i form av et bilde) samtidig med en indikator satt av en tollbetjent for hvor sannsynlig denne betjenten mener det er at pakken inneholder noe ulovlig (i form av et tall mellom 0 og 100 for eksempel) sier vi at systemet kan drive maskinlæring på heterogene data. I dette eksemplet har dataene



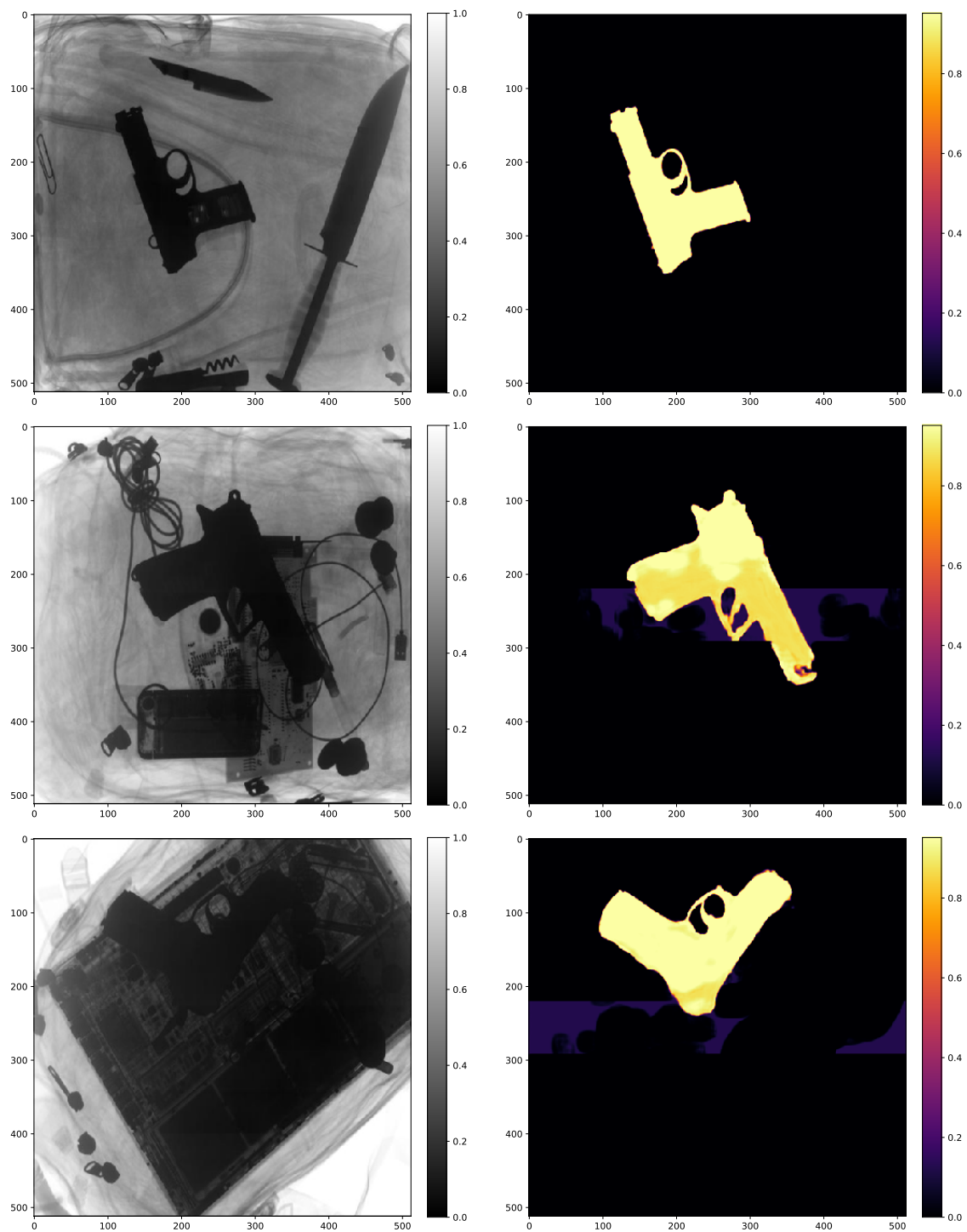
Figur 4.3 Arkitektur for det valgte u-nettet

ulike opphav (bildet kommer fra en røntgenmaskin og tallet som indikerer en tollbetjents mistenksomhet kommer fra et menneske), dataene har også ulik form (et bilde og et tall).

- Et annet eksempel ville være et system som kunne analysere et bilde tatt av adressefeltet på en pakke **samtidig** med et røntgenbilde av pakkens innhold. Her har begge dataene samme form (de er begge bilder), men kommer fra helt ulike kilder og kan ikke direkte kombineres.

I begge disse tilfellene er det på ingen måte umulig at det å treffe en avgjørelse med utgangspunkt i begge datakildene vil være mer presist enn å prøve å basere seg på hvert enkelt datapunkt alene. Problemet er å velge metoder for maskinlæring som på en enkel måte tillater at input kommer fra ulike kilder.

Nok en gang vil vi påpeke at nevralt nett er en god kandidat for denne typen problemstillinger og litteraturen viser til en rekke vellykkede anvendelser av klassifikasjon med nevralt nett basert på heterogene data, se for eksempel [9] (video og audio), [10] (satellitt-bilder og digitale terrengmodeller) og [11] (RGB bilder og laser avstandsmål).



Figur 4.4 Tre bilder hentet fra GDxray datasettet som viser pistoler sammen med korresponderende masker som viser hvor pistolen befinner seg. Maskene er i disse bildene generert automatisk av et nevralt nett.

5 Automatisering og personellbehov

Utvelgelse av pakker for kontroll er i dag en manuell prosess som krever store menneskelige ressurser. Det er et fåtall av innkommende pakker som blir vurdert og kontrollert. Ved å automatisere postmottaket, er målet å kunne vurdere mange flere pakker og å gjøre et mer nyansert utvalg av pakker som skal kontrolleres. Dette vil kunne frigjøre personellressurser slik at disse kan anvendes til kontroll og ikke-rutinemessig utvelgelse. I vårt arbeid med denne rapporten, har vi fokusert på hva som kan automatiseres i postmottaket. Det er imidlertid viktig også å nevne de aspektene ved postmottak som ikke uten videre kan automatiseres. Det er vår formening at en optimal løsning er et godt samspill mellom automatisk utvelgelse og menneskelig intelligens og kontroll.

I forbindelse med maskinlæring vil det være behov for datasett hvor kvalifisert personell har kontrollert og kategorisert pakkene, se avsnitt 5.1. Når alle pakker skal skannes og utvelgelse skje automatisk, vil det generes et stort behov for kontroller, se avsnitt 5.2. Videre tar vi utgangspunkt i et behov for randomiserte kontroller og stikkprøver, noe som vil kunne kreve betydelig arbeidsinnsats, se avsnitt 5.3.

5.1 Grunnlagsdata

For at maskinlæring skal kunne fungere, må maskinene ha *fasiter* å trene på. Et eksempel er røntgenbilder med piller. For at en maskin skal kunne finne piller i et røntgenbilde, må den først trenes opp på et stort sett av bilder hvor piller er funnet, og et enda større sett hvor det ikke er piller. Disse bildene må være kategorisert av fagpersonell, og resultater fra kontroller må kontinuerlig legges inn i systemene slik at maskinene kan bli stadig bedre på sin utvelgelse.

5.2 Kontroll av automatisk utplukkede pakker

Personellets arbeidstid til bruk for kontroll er en begrenset ressurs. Det er derfor viktig å utnytte ressursen så godt som mulig. Ved økt treffsikkerhet i identifikasjon av ulovlig vareførsel, gjennom instrumentering, automasjon og maskinlæring, er det sannsynlig at mengden pakker som plukkes ut for kontroll vil overstige dagens evne til å kontrollere dem. Dette vil medføre en opphopning av pakker i påvente av økt kapasitet for kontroll. Pakkeberget vil vokse.

En slik flaskehals i det helhetlige systemet for håndtering av postpakker må utbedres, enten ved

1. å slippe gjennom de pakkene som er plukket ut for kontroll, men som ikke lar seg kontrollere (innen en rimelig tid) eller
2. å øke kontrollkapasiteten tilstrekkelig til å håndtere hele volumet av pakker plukket ut for kontroll.

Det automatiske systemet for utplukk av pakker for kontroll vil over tid kunne forbedres gjennom opptrening med stadig mer funndata og ventelig oppnå høy presisjon, dvs at av de utplukkede

pakkene er andelen pakker som inneholder ulovlige og farlige varer høy. Dette vil i seg selv være et argument for å øke kontrollkapasiteten. Hvis vi antar for eksempel at den ulovlige fraksjonen blir 30%, vil det være betenkelig om myndighetene lar dette samfunnsskadelige berget rase ut i samfunnet.

Økning av kontrollkapasiteten vil på kort og mellomlang sikt måtte avhjelpest gjennom en økning av personell til å utføre kontroll. Lengre fram i tid vil ventelig avanserte roboter muliggjøre løsninger som helt eller delvis kan håndtere utpakking av pakker, dokumentasjon av innholdet og eventuell gjenpakking for videreforsendelse.

Første steg vil være å studere nærmere et konkret maskinlæringsystem trent opp med reelle sensordata fra postpakker. Dette vil kunne si noe om andelen falske positive (utplukkede pakker som ikke inneholder ulovlige varer) og falske negative (pakker som inneholder ulovlige varer, men ikke blir plukket ut) samt hvilke forhold som bidrar til å holde disse parameterene lave. Etter noen iterasjoner med justering av sensorkombinasjoner og algoritmer, samt et stadig økende volum av treningsdata, vil det forhåpentligvis bli mulig å si noe om den ulovlige fraksjonen i det framtidige pakkeberget. Derigjennom vil man kunne estimere hvilken kontrollkapasitet som kreves i et fullskala automatisert postmottak.

Vi beskriver et postmottak hvor *alle* pakker skannes og utvelgelse skjer automatisk. I tillegg til den automatiske utvelgelsen, som er basert på maskinlæring på kjente mønstre og objekter, vil det også kunne være behov for tollerens trente øye og magefølelse i utvelgelsesprosessen. Maskiner kan fortsatt ikke fullt ut erstatte mennerskers helhetlige oversikt og sosiale intelligens i jakten på smuglere.

I tillegg til kontroll av pakker som velges ut av det automatiske skannesystemet, vil det være behov for inspeksjon av spesialpost - det vil si pakker som av ulike grunner ikke kan sendes inn i det automatiske utvelgessystemet.

5.3 Behov for randomiserte kontroller

I vårt eksempel på automatisert postmottak skisseres flere nivåer med automatisert skanning og utvelgelse før den manuelle kontrollen. Utvelgelse av pakker til videre inspeksjon bør skje på to grunnlag:

- Mistanke om ulovlig innhold
- Tilfeldig utvelgelse

Det første punktet er beskrevet bl.a. i kapittel 4, og baserer seg på at det automatiske systemet lærer seg å kjenne igjen mønstre og objekter, både i homogene sensordata, men også i heterogene data, som for eksempel metadata kombinert med sensordata.

Det andre punktet – tilfeldig utvelgelse – handler om at hver n-te pakke plukkes ut for videre inspeksjon i hvert utvelgelsespunkt, uavhengig av hva det automatiske systemet finner i pakken. Det er to fordeler med tilfeldig utvelgelse av pakker til kontroll:

- Statistikk – oversikt over faktisk smuglerrate

-
- Input til maskinlæring – bedre utvalgelse i det automatiserte postmottaket

Det første punktet er beskrevet i maskinlæringsstudien. Det andre punktet sier noe om at maskinene ikke er bedre enn vi gjør dem. Det vil si at hvis de først læres opp til å finne piller, og velger ut pakker med piller til kontroll, så er det fare for at man stirrer seg blind på piller og ikke finner noe annet. Ved å tvinge systemet til å velge ut et representativt utvalg av pakkestrømmen, blir også inputen til maskinlæringen bredere, og på sikt vil det automatiske systemet kunne finne mer avanserte mønstre og flere typer smuglervarer. For at maskinene skal lære hvilke av disse pakkene som inneholder noe ulovlig og hvilke som ikke gjør det, må pakkene kontrolleres, og resultatene registreres.

6 Konklusjon og anbefalinger

Vi har presentert et eksempel på automatisering av postmottak. Noen sensorteknologier er mer aktuelle enn andre for dette formålet. Vi ser det formålstjenlig å måle og veie pakkene, samt å avbilde og gjennomlyse dem på forskjellige måter. Dette kan i stor grad utføres automatisk på samlebånd.

Det er utvelgelsesprosessen som automatiseres i vårt eksempel, og vi forutsetter at kontroller og åpning av pakker skal skje manuelt av kvalifisert personell. Det automatiske systemet kan merke en pakke som mistenkelig og sende den videre til kontroll, men vi ser for oss at det er en person som gjør den siste kontrollen. Det automatiske systemet kan klarere pakker, men bare personer kan avgjøre at pakken inneholder noe ulovlig og bestemme at den stoppes.

Det er mange vurderinger som må gjøres i forbindelse med automatisering av deler av utvelgelsesprosessen. Noen av disse er diskutert kort i denne rapporten, og flere aspekter vil antagelig også dukke opp hvis man går i gang med å utrede automatisering.

Vi anbefaler at man inkluderer dem som skal bruke sensorsystemene når man utarbeider kravspesifikasjon for disse. Både den som skal programmere algoritmene for databehandling og den som skal vurdere sensordata og bearbeidede data vil kunne ha nyttige innspill og egne krav til funksjonalitet.

Vi har lagt vekt på tilfeldig utvalg av pakker for bruk i statistikk og maskinlæring. Systematisk kontroll av tilfeldig utvalgte pakker vil kunne gi en bedre oversikt over faktisk vareførsel og smugling enn man har i dag. Dette er noe Tolletaten kan begynne med allerede nå, uten noen form for automatisering eller maskinlæring.

7 Veien videre

Innenfor rammen av FFI's oppdrag for Tolletaten har vi nå sett på ulike teknologier vi mener vil være av betydning for Tolletaten i fremtiden. Videre har vi sett på hvordan disse teknologiene kan integreres i et postmottak for å lette utplukk av forsendelser som skal inspiseres av tolloperatører. Sist, men ikke minst, har vi sett på ulike metoder fra maskinlæring som kan benyttes for å trekke informasjon ut av data generert av ulike sensorer i et postmottak.

Vi mener de ulike rapportene som er levert innenfor rammen av oppdraget danner et godt grunnlag for å peke på mulige veier videre for Tolletaten. Vi vil her peke på noen framtidige prosjekter som vi mener vil være av stor betydning for videreføringen av dette viktige arbeidet:

- La oss først tillate oss å sitere Sir Arthur Conan Doyles berømte figur Sherlock Holmes:

“Data!data!data!”he cried impatiently. "I can't make bricks without clay.”

- Betydningen av data og tilgangen på dette kan ikke overvurderes. All bruk av maskinlæring krever tilgang på større eller mindre mengder data for utvikling, kalibrering og trening samt testing. Tolletaten er i en unik posisjon for å kunne samle store mengder data som kan benyttes for utvikling av automatiserte systemer. I mange tilfeller vil ikke innsamlingen av slike data kreve annet enn at man tar vare på data som allerede benyttes i dag. Når slike datasett er etablert kan de benyttes for å utvikle maskinlæringssystemer, de kan utveksles med andre lands tolletater, og de kan danne grunnlag for videre forskning på nye metoder med viktige anvendelser for Tolletaten.
- Som ledd i videreføringen av dette arbeidet, bør man etablere et eller flere testsenter der man gradvis implementerer nye teknologier for å støtte utvalg av pakker og forsendelser for inspeksjon. Det er kritisk viktig at man så raskt som mulig bringer teknologien som utvikles inn i realistiske settinger slik at man kan forsikre seg om at utviklet teknologi svarer på **reelle utfordringer** for tolletaten og at de utviklede løsningene kan fungere innenfor de praktiske rammene som et operativt tollsenter representerer. Dette vil også gjøre det lettere å involvere tolloperatører i utviklingsprosessen noe som ytterligere vil forankre teknologien hos brukerne. Som et forslag til et slikt testsenter vil vi peke på Tolletatens aktivitet innen skanning av transittbagasje på Gardermoen.
 - Det bør etableres fora der representanter for tolletaten kan møte både leverandører av utstyr for inspeksjon samt dem som utvikler ulik teknologi for maskinlæring for tolletaten. Dette er viktig for å framskynde utviklingen samt å involvere ulike viktige aktører så tidlig som mulig. Dette kan for eksempel organiseres som et seminar i regi av Tolletaten, kanskje bør man i en slik sammenheng vurdere å invitere også utenlandske tollaktører. Samarbeid mellom ulike lands Tolletater burde være en prioritert oppgave som vil gjøre det mye lettere å skaffe store og tilstrekkelig diversifiserte mengder data.
 - Prosjektet bør synliggjøres for offentligheten i form av informasjonskampanjer og tilstedeværelse på internett. Prosjektet bør også søke å benytte det store potensialet som ligger i å trekke på akademia og frivillige ressurser på nett. Her vil vi spesielt nevne muligheten for å etablere konkurranser på www.kaggle.com der man kan gjennomføre konkurranser i mønstergjenkjenning og ofte trekke på tusenvis av kompetente utviklere verden over.

A Bidragsytere til rapporten

I tillegg til forfatterne av denne rapporten har vi fått bidrag og innspill fra andre forskere ved FFI. Stor takk til:

- **Helena Kvamme Nygård** For uvurderlig hjelp til statistikkberegninger.
- **Sigmund Johannes Ljosvoll Rolfsjord** For gode råd og hjelp innen dyp læring.
- **Arthur van Rheenen** For å dele sin kunnskap om terahertz med oss.
- **Ingebjørg Kåsen** For nyttige bidrag i forbindelse med hyperspektral avbildning.
- **Tomas Roll Frømyr** For konstruktive innspill.

Referanser

- [1] T. Engøy, J. I. Botnan, K. H. Løkken, T. R. Frømyr, M. Aronsen, A. Stolpe, T. A. Blix, I. Dyrdal, og L. Aurdal, “Teknologiske muligheter for tolletaten – breddestudie,” FFI, Tekn. Rapp. FFI-RAPPORT 17/16605, 2017.
- [2] I. Dyrdal, L. Aurdal, K. H. Løkken, og T. Engøy, “Teknologiske muligheter for tolletaten - mønstergjenkjenning og maskinlæring,” FFI, Tekn. Rapp. FFI-RAPPORT 17/17026, 2017.
- [3] A. D. Van Rheenen og M. W. Haakestad, “Detection and identification of explosives hidden under barrier materials—what are the thz-technology challenges?” i *Proc. SPIE*, bind 8017, 2011, s. 801719.
- [4] A. D. van Rheenen og M. W. Haakestad, “Terahertz imaging spectroscopy—towards robust identification of concealed dangerous substances,” i *Infrared, Millimeter, and Terahertz waves (IRMMW-THz), 2014 39th International Conference on*. IEEE, 2014, s. 1–2.
- [5] ———, “Robust identification of concealed dangerous substances by spectral correlation of terahertz transmission images,” *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, bind 5, nr. 3, s. 438–444, 2015.
- [6] Posten Norge. (2017) 2016 oppsummert. [Online]. Tilgjengelig: <https://www.postennorge.no/finansiell-informasjon/finansiell-arsrapport-2016>
- [7] V. Badrinarayanan, A. Kendall, og R. Cipolla, “Segnet: A deep convolutional encoder-decoder architecture for image segmentation,” *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 2017.
- [8] J. Long, E. Shelhamer, og T. Darrell, “Fully convolutional networks for semantic segmentation,” *arXiv.org*, 2014.
- [9] J. Ngiam, A. Khosla, M. Kim, J. Nam, H. Lee, og A. Y. Ng, “Multimodal deep learning,” i *Proceedings of the 28th international conference on machine learning (ICML-11)*, 2011, s. 689–696.
- [10] N. Audebert, B. Le Saux, og S. Lefèvre, “Fusion of heterogeneous data in convolutional networks for urban semantic labeling,” i *Urban Remote Sensing Event (JURSE), 2017 Joint*. IEEE, 2017, s. 1–4.
- [11] A. Eitel, J. T. Springenberg, L. Spinello, M. Riedmiller, og W. Burgard, “Multimodal deep learning for robust rgb-d object recognition,” i *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2015, s. 681–687.

Forkortelser

CT Computertomografi

ESM Elektroniske Støttetiltak

FFI Forsvarets forskningsinstitut

RFID Radio Frequency IDentification

About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

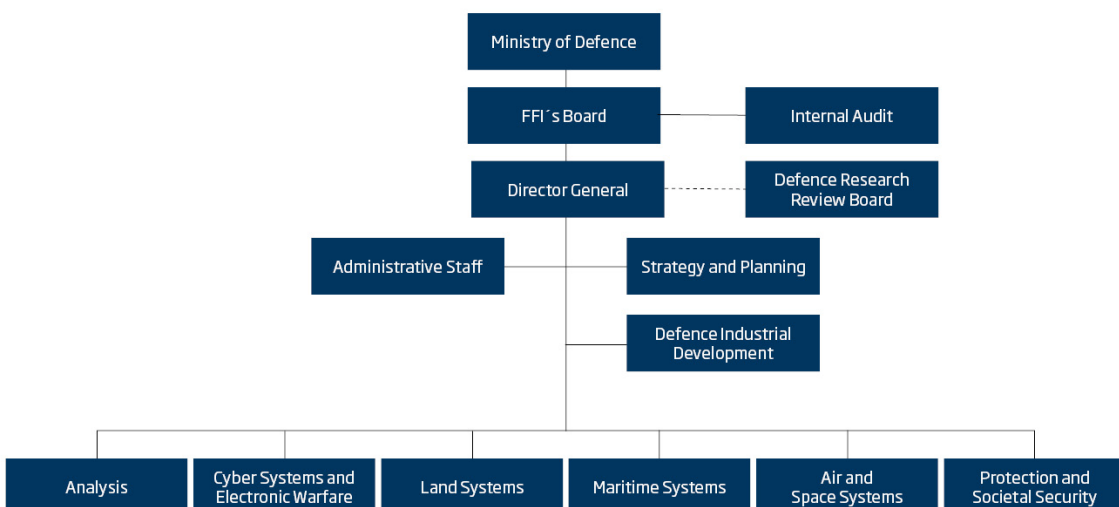
FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

FFI's organisation



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00
Telefaks: 63 80 71 15
Epost: ffi@ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
P.O. Box 25
NO-2027 Kjeller

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00
Telefax: +47 63 80 71 15
Email: ffi@ffi.no