

# Materialbestämning och Komplettering av Time-of-Flight-kamera med Hjälp av Ultraljud

Tilda Berglind (BME19), Minna Molin (BME19)

**Sammanfattning**—För personer med blindhet eller synnedsättning riskerar vardagen att präglas av psykiska problem, ensamhet och låg rörlighet. Samtidigt visar forskning att just socialt umgänge och rörelse bidrar till högre livskvalitet. Därför utvecklas just nu hjälpmedlet Audomni på Lunds tekniska högskola, som med en Time-of-Flight-kamera omvandlar omgivningens visuella intryck till ljud. Kameratekniken stöter på utmaningar när det kommer till avläsning av reflektiva och genomskinliga material, vilket resulterar i felaktiga djupmätningar. Det är alltså av intresse att utforska möjliga lösningar på detta. Här presenteras därför ultraljud som en möjlig teknik för att komplettera inläsningen av miljön. Ultraljud kan användas både för att läsa in avstånd där Time-of-Flight-kameran brister och för att avgöra vilket material som avläses, särskilt där kameran inte lyckas mäta miljön på ett adekvat sätt. Dessutom kan tekniken tillämpas i teststadiet av Audomni, vid insamling av data till en testmiljö i virtual reality, där användaren av Audomni lär sig använda hjälpmedlet i en säker miljö. Materialinformation fås genom att studera ekosignalens amplitud. Undersökning av testmaterialen kartong, arm med jacka, arm utan jacka, vägg, plåt, glas, plexiglas samt spegel gjordes på avstånden 0,25, 0,5, 0,75 samt 1 meter. Testerna visar att ultraljud mäter avstånd med lägre mätavvikelse jämfört med kameran, särskilt för materialen plåt, glas, plexiglas och spegel. Ultraljud är därmed en lovande teknik både för komplettering av kameran och för materialbestämning.

## I. INTRODUKTION

**G**LOBALT finns det 49,1 miljoner personer med blindhet och 225 miljoner personer med medelsvår till svår synnedsättning [1]. Det uppskattas att 2-8% av personer med en synnedsättning använder vit käpp och resterande har någon form av guide, exempelvis ledarhund eller ledsagare, eller inget hjälpmedel alls [2].

Hjälpmidlen syftar bland annat till att underlätta navigering av miljön för användaren, som annars kan ha svårt att röra sig fritt på ett säkert sätt. Bland personer med blindhet eller synnedsättning lider 25% av ångest eller depression och gruppen löper också risk för ensamhet och social isolering, där yngre individer är mer drabbade än äldre [3].

Att kunna orientera sig i omgivningen bidrar till lägre risk för social isolering, vilket ger ökad livskvalitet för den med en synnedsättning [4]. Även motion kan bidra till ökad livskvalitet. [3]

### A. Bakgrund

Just nu utvecklas hjälpmedlet Audomni vid Institutionen för Biomedicinsk Teknik på Lunds Tekniska Högskola [5].

Inlämnat den 5 juni 2022

E-mejladress: ti2021be-s@student.lu.se, minna.molin@gmail.com

Teknisk handledare: Johan Isaksson, Institutionen för Biomedicinsk Teknik på Lunds tekniska högskola

Audomni omvandlar den visuella omgivningen till ljudsignaler och skapar på så sätt en auditiv miljö för personer med synnedsättning att navigera i. Audomni har en spatial upplösning på  $80 \times 60$  pixlar, en vinkelupplösning på  $1,2^\circ$  samt en tidsupplösning på 160 ms. Synfältet sträcker sig  $99,3^\circ$  horisontellt och  $70,6^\circ$  vertikalt och räckvidden är 4 m. Enheten bärs dels i form av ett headset liknande redan existerande virtual reality-headset och dels i form av en ryggsäck. Insamlingen av miljön sker med en Time-of-Flight-kamera (ToF-kamera) [6].

En direkt ToF-kamera mäter avståndet mellan dess sensor och omgivningen som ligger inom kamerans synfält. Det görs genom att sända ut en ljuspuls och mäta hur lång tid det tar för pulsen att komma tillbaka [7]. Därefter räknas tiden om till distans med hjälp av ljusets hastighet i mediet, i det här fallet luft. Problemet med denna teknik är att det krävs extremt noggranna (pikosekund-nivå) räknarkretsar för varje pixel i kameran för att inte få stora mätfel. Därför används istället indirekt ToF-teknik.

Indirekt ToF-teknik baseras på mätning av fasförskjutning [7] och det är den här tekniken som används i Audomni. Fasförskjutningen uppkommer då modulerat ljus reflekteras på objektet kameran mäter på, och mäts i kamerans pixlar. Varje pixel består av två detektorer. Detektorerna tar emot fotonerna som transmitterats och gör om dem till elektrisk laddning. Varje detektor hålls öppen under en halv modulationsperiod. Den ena detektorn är helt i fas med sändaren, och den andra är helt ur fas. Detta innebär att ett skilt antal fotoner inkommer till de olika detektorerna, och kommer då producera olika mängd elektrisk laddning. För att få tillräckligt med laddning öppnas och stängs detektorerna under några modulationsperioder. Sedan kan laddningarna i de två detektorerna jämföras, och fasförskjutningen kan räknas ut baserat på fördelningen av laddning.

ToF-kameror fungerar bra för avståndsbedömning förutom när det kommer till vissa material, i synnerhet glas, metaller, vatten och mörka ytor [5]. Eftersom ToF-kameran använder sig av ljus för att mäta omgivningen kommer just ytor med hög reflektans och genomskinliga ytor vara svåra eller omöjliga att mäta på. Det kommer orsaka problem för slutanvändaren av Audomni om det inte åtgärdas, eftersom fönster, bland andra vanliga ytor, kanske inte upptäcks. Ett sätt att lösa problemet är att identifiera dessa material och sedan använda en annan teknik för att komplettera ToF-kameran.

För att testa Audomni används en Virtual Reality-miljö (VR-miljö), vilket tillåter reproducerbara tester i användarspecifika miljöer. Det görs både för att testa själva tekniken och för att låta användarna öva så att de behåller hjälpmedlet innan

de ger sig ut i omgivningen. Det är viktigt att användarna får bekanta sig med hjälpmedlet som det är tänkt att det ska fungera, samt att de kan testa hemma. Att utföra tester i verkligheten skulle medföra stora risker, då det inte går att förutspå hur omständigheterna kommer att se ut, samt att felaktig användning av hjälpmedlet riskerar att utsätta användaren för fara. För att skapa en sådan VR-miljö behövs en omgivning samlas in. I nuläget görs detta med en ToF-kamera som även i det här steget behöver kompletteras med en alternativ teknik.

## B. Möjliga lösningar

1) *Maskininlärning*: En alternativ teknik för materialigenkänning är att med hjälp av maskininlärning (MI) behandla bilderna som ToF-kameran samlar in. MI faller under begreppet artificiell intelligens och används i regel för att förutse händelser eller klassificera data [8]. Det kan också användas för att bestämma hur säkert förutsägelsen eller klassificeringen är. Det finns tre grenar av MI, den första är *supervised*, eller övervakad, MI. Där lär sig datorn att känna igen mönster utifrån märkt data, till skillnad från *unsupervised*, oövervakad, MI, där datorn istället hittar gömda mönster utifrån helt omärkt data. Den sista varianten är *semi-supervised*, semi-övervakad, MI, som kombinerar de två föregående teknikerna.

Bildbehandlingen av ToF-datan kan göras genom att träna Convolutional Neural Networks (CNN) med databaser av materialbilder, alltså genom övervakad MI. Forskning på området är utbredd och en studie från 2015 presenterar en metod som kan känna igen material med cirka 73% säkerhet [9]. Nackdelen med den här tekniken är att den inte kompletterar avståndsmätningen, som störs ut av reflektiva, genomskinliga och mörka ytor, utan enbart ger materialinformation och inte avstånd till mätytan. Det är därmed i viss mån möjligt att bestämma material med hjälp av MI, men en ytterligare enhet hade behövt läggas till för att komplettera avståndsmätningen vid mätning på materialen där en ToF-kamera brister.

2) *Infraröd strålning*: En annan teknik är att kombinera infraröd strålning (IR) med kameran för att känna igen material genom att analysera materialens reflektans [10]. IR-metoden kan kombineras med CNN-teknik. Ett exempel är en robot som har utvecklats vid Georgia Institute of Technology för att kunna känna igen vanliga material [11]. Där används ljus nära IR-spektrat, där sensorn är en bärbar spektrometer, och CNN som tränats för att roboten snabbt ska kunna känna igen materialen. Spektrometern behöver hållas väldigt nära mätobjektet, mätningens räckvidd är alltså kort, däremot är säkerheten för vardera mätning mycket hög, med en noggrannhet på 99,9%.

Även här återfinns nackdelen att utdatan enbart ger materialinformation. Den korta räckvidden gör det svårt att tillämpa på en produkt som Audomni, där en del av poängen är att slutanvändaren inte ska behöva komma så nära mätytan [11].

3) *Radar*: Radar är en teknik som använder radiovågor, med frekvenser mellan 1 och 10 GHz, och som är särskilt bra anpassad för att mäta långa avstånd [12]. Den mest använda varianten kallas pulsradar, där en kort puls skickas ut innan sändaren väntar på att pulseköt ska komma tillbaka. Det är pulsens längd som avgör avståndsmätningens upplösning, radarantennens lobbredd bestämmer vinkelupplösningen. Radar

i andra varianter kan också användas för detektion av väder, hastighet och för övervakning av satelliter och kärnvapen. Radar är pålitligt för avståndsmätning oavsett hur förhållandena runt givaren ser ut, men ger ingen information om materialen som den mäter avståndet mot.

4) *Ultraljud*: En teknik som kan användas för att mäta hur ljud interagerar med ett visst material är ultraljud. Ultraljud är ljudvågor med frekvenser över 20 kHz, det vill säga alla frekvenser som ligger över intervallet för mänsklig hörsel. En ultraljudsgivare består av både en sändare och en mottagare i ett piezoelektriskt element. Ett piezoelektriskt element omvandlar mekaniskt arbete till elektricitet och omvänt. Genom att skicka ut en ultraljudssignal mot en yta och mäta ekot från kollisionen är det möjligt att ta fram både avstånd till ytan samt den reflekterade signalens intensitet. Intensiteten i sin tur beror på ytans akustiska impedans samt ljudhastigheten i propageringsmediet.

Akustisk impedans  $Z$  är ett mått på det motstånd som ljud möter i ett visst material. Den akustiska impedansen varierar med materialets densitet  $\rho$  samt ljudhastigheten  $v$  i ljudets propageringsmedium i enlighet med (1).

$$Z = \rho \cdot v \quad (1)$$

En del av ljudvågen kommer vid kollision med materialet med impedans  $Z_1$  att reflekteras. Intensiteten på det reflekterade ljudet kommer bli högre ju större skillnad det är mellan  $Z_1$  och propageringsmediets akustiska impedans  $Z_0$  [13].

## C. Tes

Ultraljudets förmåga att mäta den reflekterade signalens intensitet leder till delhypotesen att ekots intensitet borde variera beroende på materialet som signalen kolliderar med. Eftersom ultraljud också används för avståndsmätning formuleras den andra delhypotesen: tekniken kan användas för att komplettera avståndsmätningen på material för vilka ToF-kameran brister.

## D. Agenda

I det här arbetet undersöker vi möjligheten att använda ultraljud för materialbestämning samt komplettering av ToF-kamera. Arbetet inleds med en litteraturstudie av aktuellt forskningsläge och alternativa tekniker, utifrån vilken hypotesen formuleras. Därefter prövar vi hypotesen genom ett antal tester. Vi diskuterar sedan resultaten både enskilt och i form av en jämförelse med ToF-kameran, samt utifrån ett hållbarhetsperspektiv.

## II. METOD

Valet av testobjekt baserades på de problem ToF-kameran uppvisar samt vilka material som är vanliga i vardagsmiljö. Det är de materialen som är relevanta för att Audomni så småningom ska kunna användas av personer med synnedsättning. Eftersom detta är de första testerna nyttjades optimala testförhållanden, så som en plan testyta så långt det var möjligt, samt att mätytorna hölls stilla både vad gällde vinkel mot och avstånd från sensorn. Dessa parametrar ledde till följande val av testmaterial: en metallplåt, en glasskiva, en

skiva av plexiglas, en spegel, en kartong, en arm med jacka, en arm utan jacka samt en vägg.

Även om ToF-kameran stöter på problem när det kommer till mätningar på mörka material valdes det att inte undersökas. Detta beror på att mörka material inte är ett specifikt material, utan kan bestå av vilket material som helst. De skulle därför generera olika amplituder vid mätning med ultraljud och därmed inte vara relevanta att jämföra för detta arbete.

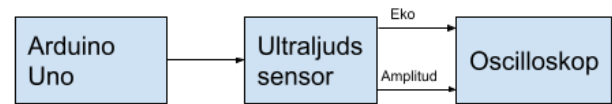
### A. Mätning med ultraljud

Ultraljudssensorn HC-SR05, med räckvidden 4,5 m och en upplösning på 0,3 cm, användes för undersökningen. Den modifierades genom att en sladd löddes till en pin på en integrerad krets på sensorn för att få ut amplituden på ekot [14]. Ekosignalen kom från den pin vars beteckning var *Echo*, vilken gav en utsignal som motsvarade det första ekot. En Arduino Uno, ultraljudssensorn, en dator och ett oscilloskop av modellen Tektronix TBS 1000C Series (Fig. 2) kopplades enligt kopplingsschema (Fig. 1). Arduinokod för ultraljudssensorn hittades på en projektsida för sensorn [15]. Avstånden 0,25; 0,50; 0,75 och 1,00 meter mättes upp. Avstånden valdes baserat på att ultraljudsensorns räckvidd i praktiken var 1,25 meter, vilket upptäcktes vid testning av utrustningen.

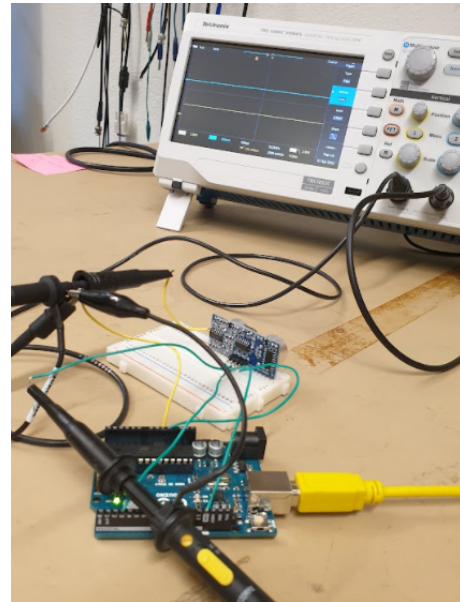
Testerna genomfördes i en inomhusmiljö med jämna ljudförhållanden för att undvika störningar och för att alla mätningar skulle kunna genomföras med samma förutsättningar. Fem mätningar per avstånd och material gjordes. Testobjekten placerades vid de angivna avstånden, med sin plana yta med 90° vinkel mot sensorn. Vid mätning mot en vägg flyttades istället sensorn till respektive avstånd. Med hjälp av oscilloskopet avlästes sedan tiden det tog för ekot att komma tillbaka samt ekots amplitud (Fig. 5). Vid mätning med ultraljud studsar ljudet flera gånger i mätobjektet, närmare bestämt vid varje mediumövergång. I de här mätningarna är det det första ekot som är relevant eftersom det är det som representerar signalens beteende i övergången mellan luft och testyta, vilket är den övergång som är intressant vid studie av akustisk impedans och dess effekt på ljudsignalen. Således ignoreras genomgående alla efterföljande ekon och tillhörande amplituder. Då amplituden avlästes (Fig. 4) på oscilloskopet var det signalsegmentet som syntes direkt efter att ekosignalen tog slut som var intressant, då det var det som gav amplituden av det första ekot (Fig. 5). Signalsegmentet som motsvarade tiden mellan att signalen skickats ut och att ekot kom tillbaka var inte relevant, då det bestod av brus. Signalsegmentet därefter var inte heller relevant, då det inte kom från det första ekot, vilket är det eko som var av intresse. Mätningarna gjordes om med testobjekten placerade med 45° vinkel mot sensorn.

När alla tidsmätningar var gjorda behövde dessa tider räknas om till avstånd. För beräkningen användes ljudets hastighet i luft,  $v_{luft}$ , och uppmätt tid,  $t$ .  $s$  står för sträcka (Tabell 1). (2) användes för ändamålet. Den uppmätta tiden divideras med två på grund av att den utsända ljudsignalen färdas både till testobjektet och tillbaka.

$$s = \frac{v_{luft} \cdot t}{2} \quad (2)$$



Figur 1: Blockdiagram över oscilloskopsuppställning

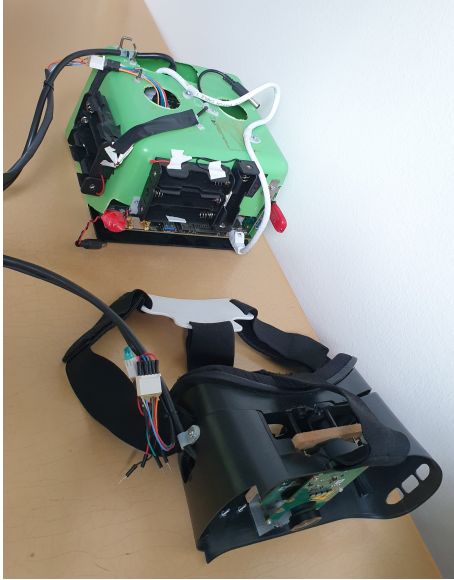


Figur 2: Uppställning för mätning med ultraljud. Nederst i bilden syns Arduino Uno, i mitten sitter ultraljudssensorn och längst upp i bilden syns oscilloskopet

### B. Mätning med ToF-kamera

Testerna genomfördes i en inomhusmiljö med lågt ambient ljus. Mätningar vid samma avstånd och på samma testobjekt som för ultraljud gjordes med en ToF-kamera. Kameran på bilden (Fig. 3) höjdes upp 15 cm över bordet för att undvika att reflektans från bordsytan skulle påverka mätningarna. Vid varje mätning togs ett antal bilder med ToF-kameran. Av dessa valdes de fem bilder som visade testobjektet tydligast. Bilderna analyserades sedan med hjälp av ToF-viewer, vilket är ett MATLAB-program som har tagits fram för att visualisera bilder från kameran. Här användes inställningen *Raw Downsample Factor 4*, vilket innebär att amplituden hos  $4 \times 4$  angränsande pixlar slås ihop till en enda pixel. Detta kallas pixel binning och ökar *signal-to-noise*-ration. Inställningar för distansgränsvärden var lägst 1 mm och högst 13000 mm. Inställningarna för *Confidence* var på lägst 2 och högst 2000, men varken gränsvärden för distans eller *Confidence* var av betydelse eftersom de avgör vilka värden som markeras som pålitliga och inte för den som analyserar bilden. Här var alla värden av intresse eftersom undersökningen medvetet gjordes delvis på material som i annat sammanhang hade gett opålitliga resultat.

När ToF-kameran gör en mätning tar den 25 bilder. Varje bild behandlas för att få fram en amplitudbild och en djupbild. Amplitudbilderna (Fig. 6- 8) visar hur hög amplitud signa-



Figur 3: Uppställning för mätning, ToF-kamera

lerna som kommer tillbaka har, och djupbilderna (Fig. 9- 11) visar hur långt bort objekt i bilden befinner sig.

Avståndet  $D$  från kameran till testobjekten på signalen avlästes för samtliga testmaterial (Tabell II).  $C$  motsvarar amplitud men de mätvärdena noterades inte. Punkten för avläsning valdes i mitten av testobjekten för att få likvärdiga mätvärden för alla testobjekt.

### C. Avståndsfel

När alla mätningar var gjorda och tiderna räknats om till avstånd, beräknades medelvärde och standardavvikelser för avståndsmätningarna för både ultraljuds- och ToF-mätningarna. (3), (4) användes

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m)^2}{n}} \quad (4)$$

där  $m$  betecknar medelvärdet,  $n$  antalet mätningar på varje material med respektive mätmetod,  $x_i$  uppmätt avstånd för varje mätning och  $\sigma$  standardavvikelsen.

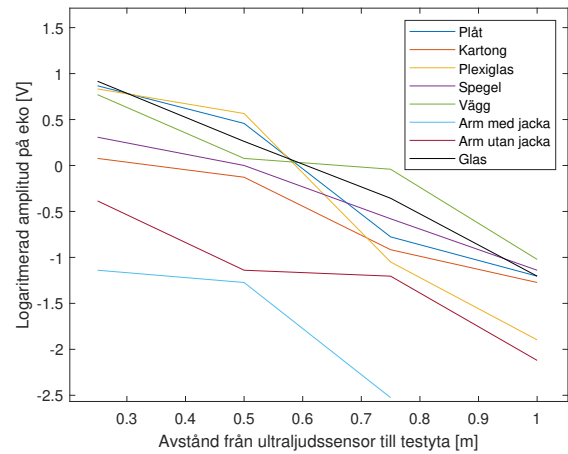
## III. RESULTAT

Mätningarna på objekten i  $45^\circ$  vinkel gav inga resultat på amplituden, då signalen var för liten för att mätas. Följande resultat syftar alltså enbart på mätningarna gjorda vid  $90^\circ$ .

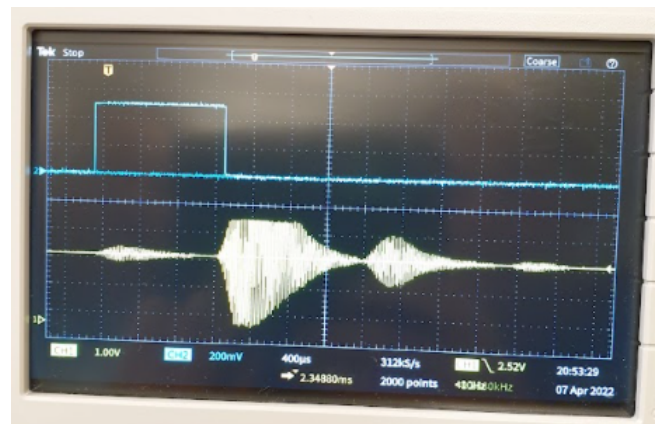
### A. Ultraljud

Tabell I. UPPMÄTT AVSTÅND, MEDELVÄRDE (STANDARDVAVIKELSE) [mm], ULTRALJUD

Faktiskt avstånd	Plåt	Glas	Plexiglas	Spegel
250	272 (0)	272 (0)	272 (0)	272 (0)
500	476 (0)	544 (1,3)	476 (0)	476 (1,3)
750	714 (0)	714 (0)	714 (1,7)	714 (0)
1000	952 (1,2)	986 (0)	952 (0)	918 (1,6)
Faktiskt avstånd	Kartong	Arm med jacka	Arm utan jacka	Vägg
250	272 (2,1)	272 (1,8)	272 (0)	272 (0)
500	544 (0)	544 (1,7)	544 (0)	544 (1,8)
750	714 (0)	714 (0)	714 (1,5)	680 (0)
1000	986 (0)	986 (1,7)	986 (0)	918 (1,4)

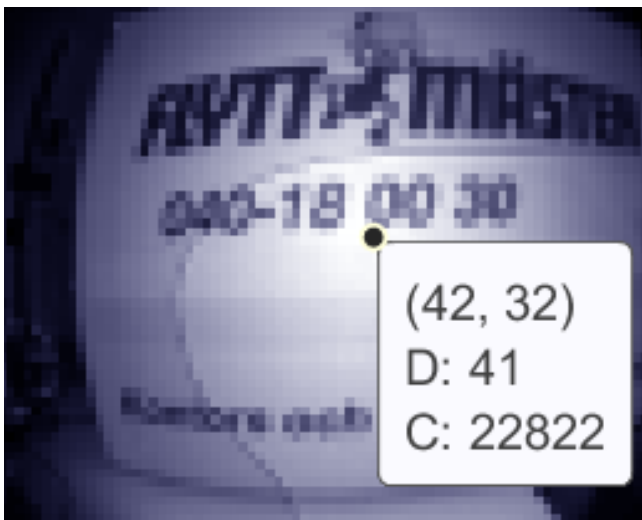


Figur 4: Amplitud [V] som funktion av avstånd [m] för samtliga material, ultraljud

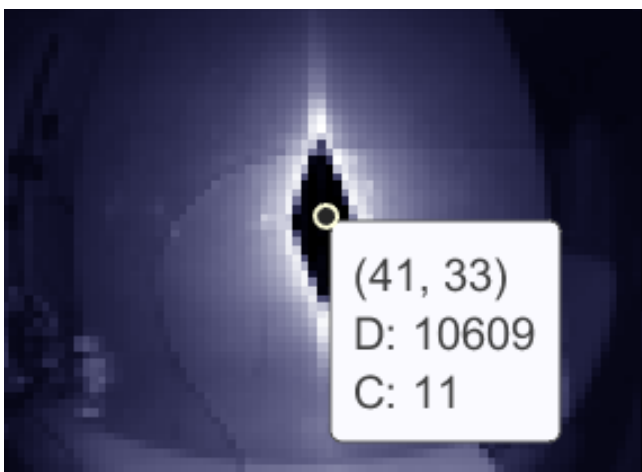


Figur 5: Ultraljudsmätning 25 cm, plåt. Övre signal visar tiden det tar för ekot att komma tillbaka, undre visar amplituden på signalen

B. ToF-kamera



Figur 6: ToF-kamera-mätning 25 cm, kartong. Amplitudbild.



Figur 7: ToF-kamera-mätning 25 cm, plåt. Amplitudbild.



Figur 8: ToF-kamera-mätning 25 cm, glas. Amplitudbild.



Figur 9: ToF-kamera-mätning 25 cm, kartong. Djupbild.



Figur 10: ToF-kamera-mätning 25 cm, plåt. Djupbild.



Figur 11: ToF-kamera-mätning 25 cm, glas. Djupbild.

Tabell II. UPPMÄTT AVSTÅND, MEDELVÄRDE (STANDARDVAVIKELSE) [mm], ToF-KAMERA

Faktiskt avstånd	Plåt	Glas	Plexiglas	Spiegel
250	2664,75 (4586,63)	609,5 (419,59)	973,75 (1282,68)	1438 (2448,15)
500	185,5 (186,09)	1252,5 (358,56)	1523,25 (745,51)	821,5 (528,83)
750	859,75 (182,68)	1224 (462,03)	2318,75 (821,28)	879 (320,9)
1000	898 (128,88)	1462,5 (77,83)	2801 (443,29)	1278,5 (213,19)
Faktiskt avstånd	Kartong	Arm med jacka	Arm utan jacka	Vägg
250	41 (1,41)	77,75 (10,23)	62,25 (4,82)	118,5 (19,99)
500	368,25 (3,11)	390,75 (12,07)	407,5 (2,96)	341,5 (3,35)
750	704,75 (4,32)	662,5 (43,13)	751 (11,51)	690,5 (3,84)
1000	704,75 (4,32)	897 (36,64)	1093,5 (28,46)	1007,5 (15,04)

#### IV. DISKUSSION

##### A. Ultraljud

Det är tydlig skillnad på amplituderna för de olika materialen vid mätning med ultraljud (Fig. 4). Resultatet ger en indikation på att första delen av hypotesen kan stämma: Att ekots intensitet borde variera beroende på materialet som signalen kolliderar med. Innebörden av detta är att det kan vara möjligt att urskilja olika material med ultraljud. Det är också skillnad på amplituden vid olika avstånd för samma material, vilket innebär att avståndet är en betydande faktor. Det här är inget problem vid mätningar för ändamålet materialbestämning, då sensorn alltid kommer att ge information om avståndet. Det skulle alltså kunna vara möjligt att, genom att utföra fler mätningar, ta fram ett samband mellan avstånd och amplitud för varje givet material som här har undersökts. Sambandets karaktär går inte att urskilja med de få värden som finns för varje material, varför fler mätningar är nödvändiga; klart är dock att de varierar beroende på material och avstånd till sensorn. Ultraljud kan tillämpas som avståndsmätare, men också potentiellt som materialinsamlare, vilket är till fördel vid skapande av VR-miljö då det kan bli möjligt att direkt avläsa vad olika kroppar består av.

##### B. ToF

Mätningarna visar att ToF-kameran, således även Audomni, har problem att mäta avståndet till de material som presenterades i inledningen, det vill säga reflektiva och genomskinliga material. Det kan ses på mätningarna för plåt, glas, plexiglas och spegel, både vad gäller ren avståndsmätning, men även på bilderna för plåt och glas, som har ett annat utseende än den för kartong (Fig. 6- 8). Det är tydligt att bilderna blir överexponerade på grund av ytornas reflektivitet respektive genomskinlighet eftersom det i mitten av båda bilderna på plåt och glas blir svarta fläckar med vita sken runt om, som inte återfinns på bilden av kartong. Överexponering kan gå att åtgärda om det identifieras, genom att minska illumineringsgraden, dock med risk för att andra delar av bilden blir underexponerade.

Det kan vara värt att poängtera att amplitudvärdena inte går att använda för materialbestämning här som med ultraljud. Amplitudvärdena kommer variera beroende på materialets färg, exempelvis störs den som tidigare nämnt ut av mörka färger på grund av att bilderna kan bli underexponerade, vilket gör det omöjligt att med amplituden avgöra vilket material det är. Det är möjligt att det skulle gå att använda en ToF-kamera

för att avgöra huruvida en yta är mörk eller ljus rent utseendemässigt, men den sakens relevans för tillämpningsområdet står utanför det här arbetet att avgöra. Amplitudvärdena kan däremot vara av betydelse för den verkliga tillämpningen av Audomni i syfte att bestämma vilka värden som är pålitliga och inte.

##### C. Ultraljud i jämförelse med ToF-kamera

Vid avståndsmätningar på plåt, glas, plexiglas och spegel är ultraljud tydligt den metod som är bäst lämpad av de två som här testats. Vid mätningar på övriga material ger ultraljud och ToF-kamera liknande resultat (Tabell I, II), vid alla avstånd förutom 0,25 meter där ToF-mätningarna avviker betydligt mer.

Det går också att se att ultraljud ger mer konsekventa resultat. Med detta menas att felet i avstånd är lika vid olika material, vilket leder till att det blir lättare att beräkna felmarginaler för mätningarna. Det går att se på standardavvikelserna för respektive mätning och urval av material, där standardavvikelserna är flera gånger mindre för ultraljud än för ToF-kameran i varje fall. Det blir särskilt tydligt vid jämförelse av medelvärde samt standardavvikelse för materialen glas, plexiglas, spegel och plåt. Med vetskap om dessa kan antalet misstag relaterade till avståndsbedömning minskas vid användning av Audomni.

##### D. Framtid

Med hjälp av amplituden på signalen och avståndet till mätobjektet, finns en bra grund för att kunna bestämma vilket material objektet i fråga är gjort av. Det som kan göras i framtiden för att utveckla metoden vidare är framför allt användning av en bättre anpassad ultraljudssensor. Det skulle leda till mer pålitliga mätvärden, vilket krävs om tekniken ska implementeras i Audomni. För att det ska ske krävs också mer omfattande mätningar. Om det görs kan tabellvärden tas fram, vilka kan jämföras med uppmätta värden vid användning av Audomni, och på så sätt kan materialet Audomni mäter på bestämmas. Andra undersökningar som hade varit av intresse är test i verkliga situationer, huruvida en eller flera ultraljudssensorer behövs, hur mätning på flera mätobjekt samtidigt hade fungerat och hur integrationen av ultraljud med ToF-kamera hade sett ut.

En brist i det här projektet är att mörka material inte behandlas. Mätningarna gjordes också med samma inställningar varje gång och med en variant av ToF-kamera respektive ultraljudssensor. På grund av ultraljudsensorns räckvidd begränsades mätningarna också till maxavståndet 1 m.

## E. Hållbarhet och etik

Ultraljudssensorer är kostnadseffektiva. Som exempel kan sensorn som användes vid mätningarna nämnas, som kostade 49 SEK och gav goda resultat. Det innebär att tillsättande av en ultraljudssensor på Audomni inte skulle resultera i en markant prisökning, vilket är viktigt för en sådan här produkt då priset bör hållas nere för att hjälpmedlet ska kunna vara tillgängligt för så många personer med synnedbrott som möjligt.

Ultraljud har också låg energiförbrukning. Igen kan sensorn HC-SR05 nämnas; den kräver enbart 4,5-5,5 V och 10-40 mA för användning [16]. Låg energiförbrukning är fördelaktigt då det leder till att användarna av Audomni kan använda hjälpmedlet under längre tid utan att behöva oroa sig för att batteriet kommer ta slut. Detta skulle kraftigt begränsa nyttan med hjälpmedlet i och med att oron skulle kunna bidra till en osäkerhet som inte finns vid användning av andra hjälpmedel. Att välja ultraljud som kompletteringsteknik är därför ett val som bidrar till att hålla Audomni tillgängligt för fler.

Ultraljud används idag för olika typer av diagnostik, och om det skulle visa sig att den här tillämpningen besitter förmågan att samla information av diagnostiskt värde, finns det en poäng i att se över hur informationen presenteras för Audomni-användaren. Sannolikheten för detta är dock låg, eftersom mätningen med ultraljud här görs på det första ekot, det vill säga på hud eller kläder om hjälpmedlet riktas mot en annan person.

## V. SLUTSATSER

Ultraljud är en teknik som ger säkra avståndsmätningar på samtliga testade material, i synnerhet blir resultaten mer pålitliga för materialen glas, plexiglas, spegel och plåt än vad resultaten blir för samma undersökning med en Time-of-Flight-kamera. Ultraljud har dessutom möjligtvis potential att med hjälp av ekosignalens amplitud urskilja olika material från varandra. Implementation av ultraljudsteknik på hjälpmedlet Audomni hade gett en säkrare användarupplevelse och kan dessutom underlätta vid insamling av omgivning till utvecklingen av en testmiljö i virtual reality.

## VI. EFTERORD

Vi skulle vilja tacka Johan Isaksson, doktorand på Institutionen för Biomedicinsk Teknik, för att vi har fått ta del av hans projekt och för all hjälp vi har fått under terminens gång. Projektet hade varit omöjligt att genomföra utan hans stöd i alla beslut och i frågorna kring dessa. Arbetet har fördelats jämt, både vad gäller mätningar liksom rapportförfattande, och författarna har fört gott samarbete vid projektets alla delar.

## REFERENSER

- [1] R.R.A. Bourne. "Global Prevalence of Blindness and Distance and Near Vision Impairment in 2020: progress towards the Vision 2020 targets and what the future holds." *Arvo Journals*, 2020. Hämtad 11 maj från <https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2767477>
- [2] "10 fascinating facts about the white cane" *Perkins SCHOOL FOR THE BLIND*, 2022. Hämtad 9 maj från <https://www.perkins.org/10-fascinating-facts-about-the-white-cane/>
- [3] "Vision Loss and Mental Health" *CDC*, 2021. Hämtad 15 maj från <https://www.cdc.gov/visionhealth/resources/features/vision-loss-mental-health.html>
- [4] "Blindness and vision impairment" *WHO*, 2021. Hämtad 23 april 2022 från <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>
- [5] J. Isaksson. Personlig kommunikation. December 2021.
- [6] J. Isaksson, T. Jansson, J. Nilsson. "Audomni: Super-Scale Sensory Supplementation to Increase the Mobility of Blind and Low-Vision Individuals—A Pilot Study" *EMB*, vol 28, 2020.
- [7] "Understanding Indirect ToF Depth Sensing" *Microsoft*, 2021. Hämtad 15 maj 2022 från <https://devblogs.microsoft.com/azure-depth-platform/understanding-indirect-tof-depth-sensing/>
- [8] "Machine Learning" *IBM*, 2020. Hämtad 15 maj 2022 från <https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning>
- [9] K. Bala, S. Bell, N. Snavey, P. Upchurch. "Material recognition in the wild with the Materials in Context Database" *IEEE*, 2015. Hämtad 18 april 2022 från <https://ieeexplore.ieee.org/document/7298970>
- [10] S. Lee, S. Lee. "Surface IR Reflectance Estimation and Material Recognition using ToF Camera" *IEEE*, 2021. Hämtad 23 april 2022 från <https://ieeexplore.ieee.org/document/9412450>
- [11] T. Toon. "Robot able to instantly identify household materials using near-infrared light" *WEVOLVER*, 2019. Hämtad 16 maj 2022 från <https://www.wevolver.com/article/robot.able.to.instantly.identify.household.materials.using.nearinfrared.light>
- [12] I. Carlsson, S. Wemmert, Ö. Erikmat. "radar" *NE*, U.Å. Hämtad 19 maj från <http://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/lång/radar>
- [13] "Impedance" *Britannica*, U.Å. Hämtad 23 april från <https://www.britannica.com/science/sound-physics/Impedance>
- [14] "Circuit Diagram Ultrasonic Distance Sensor HC-SR04" *PC Services*, 2018. Hämtad 11 maj 2022 från <http://www.pcserviceselectronics.co.uk/arduino/Ultrasonic/electronics.php>
- [15] A.A. Jabbaar. "Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino Tutorial" *PROJECT HUB*, 2019. Hämtad 2 maj 2022 från <https://create.arduino.cc/projecthub/abdularbi17/ultrasonic-sensor-hc-sr04-with-arduino-tutorial-327ff6>
- [16] "HY-SRF05 Precision Ultrasonic Sensor" *Hailege*, 2020. Hämtad 16 maj 2022 från <https://datasheetspdf.com/pdf-file/813041/ETC/HY-SRF05/1>