

Energimyndighetens titel på projektet – svenska FiDiMo – Standardiserad modul för fiskdiagnostik	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska FiDiMo – Standardized module for fish diagnostics	
Universitet/högskola/företag Luleå tekniska universitet	Avdelning/institution Strömningslära och experimentell mekanik
Adress 971 87 Luleå	
Namn på projektledare Mikael Sjödahl	
Namn på ev övriga projektdeltagare Johan Öhman, Gunnar Hellström, Henrik Lycksam, Gustav Hellström, Patrik Andreasson	
Nyckelord: 5-7 st Fiskdiagnostik, Automatisk identifiering, Fisk-AI, fiskvandring, fiskidentifieringsmodul	

Förord

Detta projekt har finansierats av forskningsprogrammet Hållbar Vattenkraft – HåVa.

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	2
Summary.....	2
Inledning/Bakgrund.....	2
Genomförande.....	3
Resultat.....	5
Diskussion.....	5

Sammanfattning

I detta projekt har vi tagit fram en standardiserad modul som möjliggör automatisk detektion och klassificering av fisk, vilket möjliggör bättre uppföljning och beslutsunderlag för habitatförbättring i anslutning till vattenkraftdammar. Modulen är uppbyggd kring stereoskopisk avbildning och pulsad belysning, vilket har visats ge bättre detaljskärpa utan att störa fiskarnas naturliga beteende. Parallellt vidareutvecklades ett AI-verktyg som i ett första skede möjliggör klassificering av art och ursprung av vandrande fisk. Som en ansats att möjliggöra uppföljning på individbasis utvecklades också en metodik för automatisk annotering av individer. Detta arbete är dock i sin linda och kommer att kräva mer arbete innan det kan användas fullt ut som beslutsunderlag i anslutning till vattenkraftinstallationer.

Summary

In this project, we have developed a standardized module that enables automatic detection and classification of fish, which enables better follow-up and decision support for habitat improvement in connection with hydropower dams. The module is built around stereoscopic imaging and pulsed lighting, which has been shown to provide better detail sharpness without disturbing the fish's natural behavior. In parallel, an AI tool was further developed which, in a first stage, enables classification of species and origin of migrating fish. As an approach to enable follow-up on an individual basis, a methodology for automated annotation of individuals was also developed. However, this approach is in its infancy and will require more work before it can be fully used as a basis for decision-making in connection with hydropower installations.

Inledning/Bakgrund

Vattenkraftsbranschen har som ambition att återställa naturliga habitat med bibehållen balans-, regler- och produktionsförmåga vid våra utbyggda älvar. De satsar därför betydande resurser på att ta fram metoder som återskapar konnektivitet och förbättrar befintliga strömhabitat utan att för den skull negativt påverka produktion och reglerkraft. För att veta om dessa åtgärder fyller sitt syfte eller ens har biologisk effekt finns ett behov av lösningar som ger återkoppling på de åtgärder som genomförs. Som exempel behövs en förmåga att identifiera fiskar som rör sig uppströms och nedströms i dessa installationer. Det är också önskvärt att få information om art, kön, storlek, eventuella sjukdomar och annat som påverkar beståndens utveckling för att om möjligt kunna sätta in åtgärder som främjar ett hållbart bestånd.

Många av de vattenkraftsreglerade vattendragen i Sverige är idag långt ifrån att uppnå miljömålen i ramdirektivet för vatten (vattendirektivet). Miljöproblemen tros främst bero på förlust eller försämrad habitatkvalitet och konnektivitets/passagebegränsningar. Det pågår idag åtskilliga aktiviteter som syftar till att bygga bort sådana problem. Som ett resultat av dessa aktiviteter beräknas många av landets reglerade vattendrag ha installerade fiskpassager inom

en tjugooårsperiod, men i dagsläget råder brist på konsensus kring hur dessa passager bäst utformas och vilka ytterligare åtgärder som kan göras för att gynna specifika bestånd. Uppföljning av funktion hos fiskvägar kommer därför att vara en central fråga, såväl operationellt (uppfyller fiskvägen ställda krav?) som vid nyetablering ("bästa möjliga teknik"). För att få en bättre återkoppling kring hur de olika installationerna fungerar och vilka bestånd som är livskraftiga finns ett starkt önskemål från branschen och förvaltande myndigheter om tillgång till ett öppet system för automatisk fiskdiagnostik som kan anpassas för olika fiskarter och för olika anläggningar. De fåtal kommersiella alternativ som finns är i regel kontextberoende och kräver ofta manuell genomgång av insamlat bildmaterial, något som är mycket arbetsintensivt och innehåller ett mått av subjektivitet. En enklare kostnadseffektiv och robust grundfunktion för mindre anläggningar med möjlighet till påbyggnad av fler funktioner är därför önskvärt.

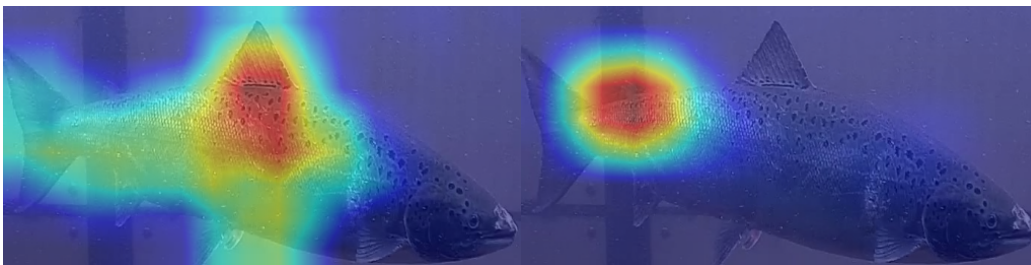
Syftet med detta projekt var att undersöka möjligheten kring att utforma en standardiserad modul för fiskdiagnostik kring svenska vattenkraftsreglerade vattendrag. Projektet har byggt på erfarenheter från tidigare forskningsprojekt samt ett betydande naturabidrag av Vattenfall R&D kring fiskdetektion baserad på maskininlärning. Resultatet från projektet är en lösning som inkluderar både hårdvara och mjukvara som har verifierats och demonstrerats på historiska data (minst 10 000 sorterade bilder) samt nya data från fältexperiment i Stornorrfors. FiDiMo har genomförts som ett samarbete mellan forskare från LTU och från SLU med olika erfarenhet av vattenkraftsrelaterad teknik och fiskpassage, och med starkt stöd från Vattenfall R&D i Älvkarleby. I projektorganisationen fanns experter på fiskars ekologi, vattenkraftshydraulik, kamerateknik och artificiell intelligens. Projektet genomfördes från september 2020 till och med december 2022.

Genomförande

Projektets syfte var att ta fram en generell modul för automatisk diagnostik av fisk i vilt tillstånd, i huvudsak vandrande fisk. Ambitionen var att ta fram en plattform med färdig hårdvara och öppen mjukvara för vidare påbyggnad av fler och mer avancerade moduler. I projektets första del utvecklades den hårdvara som har använts som en plattform inom projektet. Den tog sin ansats i möjligheten att kunna ta skarpa detaljrika bilder från vilka detaljerad information om fisk kan utläsas. Som ett led i denna utveckling genomfördes en beteendestudie där fisk utsattes för pulsat ljus av olika våglängd och pulstid. Bakgrunden till denna studie var att det fanns indikationer i vetenskapliga tidskrifter på att fisk inte reagerar på korta ljuspulser, vilket i sådana fall skulle möjliggöra frysning av bilder och förhindra den rörelseoskärpa som är vanlig i nuvarande installationer. Dessutom finns tidigare studier som troliggör att fisk använder ett bredare färgspektrum än vad vi människor gör och att det därför kan finnas utvidgad information i multispektrala bilder. Slutsatsen från denna studie bekräftar att fisk till skillnad från kontinuerliga ljuskällor inte verkar påverkas av ljus från pulshade ljuskällor och vi valde att basera vår modul på sådan teknik. Samtidigt såg vi att detaljskärpan i fiskars texturering blir skarpare ju kortare ljusvåglängd som

används, men att ingen ny information framträder ens inom UV-området. Baserat på dessa resultat utvecklades en modul bestående av pulsade lysdiodpaneler i det blå-gröna området och två synkroniserade kameror för stereoskopisk avbildning. Triggning sker från blockering av läckljus och en sekvens av fem-tio bilder tas på samma fisk för att uppnå redundans och förhindra skymda vyer. Den stereoskopiska uppställningen möjliggör storleks- och positionsbestämning. Hårdvarudelen av modulen fungerar bra men hade vid slutet av projektiden några barnsjukdomar som kan komma att behöva åtgärdas inför kommande projekt.

Samtidigt med utvecklingen av hårdvaran till modulen genomfördes utveckling av utvärderingsalgoritmer för artbestämning av lax och öring. Denna analys baserades på annoterat data från Vattenfalls installation vid Stornorrfors i Umeå. Detta arbete visade att det går att styra träningen mot specifika detaljer som man på förhand vet är viktiga för selekteringen och att algoritmerna konvergerar relativt snabbt. Som förväntat var det också tydligt att kvaliteten i annoteringen är avgörande för precisionen i de beslut som tas. Trots att den annotering som användes, en köpt tjänst från Amazon, hade stora brister och bildkvaliteten i många fall var bristfällig så gav denna mjukvara tillfredställande artbestämning i de allra flesta fall. Figuren nedan visar hur algoritmen gradvis styr mot stjärtfenan med ökad träning, vilken är den huvudsakliga egenskap som särskiljer odlad fisk från vild.



Delvis tränat nätverk.
nätverk.

Färdigtränat

För att ha en möjlighet att angripa mer avancerade uppgifter som att identifiera enskilda individer utvecklades en ny metod att annotera fisk. För detta genomfördes en studie vid fiskodlingen i Stornorrfors där en stor mängd taggad fisk fick simma runt i en bassäng i vilken de styrdes in genom vår utvecklade modul. Varje gång de simmade in i modulen registrerades individen från taggen och samtidigt togs bilder av fisken. På så sätt får man en stor mängd automatisk annotering av fisk på individbasis och systemet kan tränas på att känna igen specifika individer. Denna test var delvis framgångsrik men hade ett par bekymmer kopplade till valet av tidpunkt och typ av fisk. Testen genomfördes på öring i juni, efter att fiskens naturliga drift att vandra hade avtagit, vilket gjorde att det var svårt att få tillräckligt många bilder på en och samma individ. De låg mest och vilade. Vi kan därför inte dra några generella slutsatser från denna studie än, annat än att ansatsen verkar lovande men kräver mer arbete.

Resultat

Vid slutet av projektiden så har vi:

- 1) *En fungerande modul som genererar detaljrika stereoskopiska bilder med en inbyggd trigger.* Valet av hårdvara grundar sig på en beteendestudie som genomfördes under projektets inledande fas där det bekräftades att fisk (studien genomfördes på Guppi och Öring), till skillnad från kontinuerligt ljus, inte påverkas av pulsat ljus, ens upp till pulslängder i ms-området. Detta har möjliggjort en modul som innehåller aktiv belysning vilket gör att den även är brukbar nattetid. Valet gör också att vi eliminerar rörelseoskärpa och maximerar detaljkontrast. Valet av en stereoskopisk kamerakonfiguration har två effekter; dels blir systemet mindre känsligt för reflexer och skymda vyer och dels så möjliggör denna konfiguration storleksbestämning oberoende av vart i modulen fisken råkar befinna sig.
- 2) *Färdig mjukvara för att särskilja odlad fisk från vild.* Utvecklingen av AI-mjukvaran är i huvudsak baserad på bilddata som har genererats vid Vattenfalls befintliga installation vid Stornorrfors och där annoteringen har köpts som en kommersiell tjänst från Amazon. Vid projektets slut är det bekräftat att systemet klarar av att särskilja vild öring från odlad med en säkerhet på över 95%. Det klarar också av att särskilja lax från öring, men för denna klassificering saknades tillräckligt bilddata för att vi skulle kunna kvantifiera utfallet då vi i ett första skede valde att fokusera på den första utmaningen.
- 3) *Visat på en ny metod att annotera data på individnivå för högkvalitativ träning.* Vår studie genomfördes under juni 2022, efter den naturliga vandrings säsongen. Studien genomfördes på 100 taggade individer (odlad öring) i en bassäng vid Stornorrfors kraftstation under en period av två dygn. Det totala insamlade bildmaterialet omfattar i runda tal 2500 bilder, där varje bild kan kopplas till en specifik individ utan behov av ytterligare annotering. Problemet vi hade var att långt ifrån alla individer valde att vandra genom modulen under mätkampanjen vilket gjorde det svårt att få en heltäckande representation som kunde användas både för träning och verifiering. Denna del av projektet är därför inte färdigställd under projektets gång utan skulle behöva genomföras under än mer kontrollerade former under en mer lämplig tid på året.

Diskussion

Projektet har visat på hur man med relativt enkla medel kan bygga ett system som automatiskt tar bilder på en fisk som befinner sig i en detektionsmodul och automatiskt utvärderar vissa fördefinierade egenskaper. Detta kan få stor betydelse för hur kraftbolag och myndigheter kan tolka utfallet av olika habitatförstärkande insatser som genomförs i anslutning till vattenkraftverk. I ljuset av att det kan komma lagkrav på att kraftbolag ska kunna visa på effekten av olika insatser som är tänkta att stärka fiskars vandring kan system liknande detta få stor betydelse. Valet att använda pulsat ljus i det kortvågiga synliga spektrat grundar sig på behovet att maximera detaljskärpan genom att eliminera rörelseoskärpa och operera inom ett spektralområde där vandrande fiskars naturliga texturering är som tydligast. Samtidigt möjliggör valet av aktiv belysning att modulen kan användas dygnet runt. Modulen har en enkel

konstruktion där det huvudsakliga designarbetet har koncentrerats på att täcka in så stor del av mätvolymen som möjligt med de kameravinklar som använts. Samtidigt kräver designen ett visst mått av komplicerad elektronik och strömförsörjning, vilket gör att den kanske inte kan användas överallt.

Den största utmaningen med den automatiska diagnostiken kan som för de flesta AI-system kopplas till annoteringen av bilddata, samt den träningsprocess som följer på detta. Den AI-arkitektur som har använts är numer så gott som standardiserad, utan kvaliteten och detaljrikedomen på de resultat som kommer ut beror på kvaliteten på det bilddata som genereras och på den annotering som görs. För att angripa detta problem och för att möjliggöra mer avancerade studier kopplade till individer utvecklades ett system för automatisk annotering på individnivå till vilken andra egenskaper kan kopplas. Detta system löser naturligtvis inte alla problem med annotering, i normalfallet får man fortsättningsvis förlita sig på manuell annotering, men kan vara ett komplement för framtida longitudinella studier där individer följs under en längre tid. Det är dock för tidigt att uttala sig om hur väl detta kan fungera och med vilken precision ett system av denna sort klarar av att identifiera enskilda fiskar.