

Sluttrapport: Prosjekt “DRONE-REG”

Prosjektdeltakere

Prosjektansvarlig:	Geir Kosvold	Glommen Mjøsen Skog
Prosjektleder NIBIO:	Stefano Puliti	NIBIO
Øvrige prosjektdeltakere:	Aksel Granhus	NIBIO
	Jørgen Nermo	Romedal og Stange Almenninger (RASA)
	Torfinn Kringlebotn	Fylkesmannen i Innlandet
	Roar Kjær	Fylkesmannen i Innlandet

Bakgrunnen for prosjektet

Gjennomføring av ungskogpleie til riktig tid er ofte avgjørende for god kvalitetsutvikling og produksjon i skogbestanden. Tiltaket bidrar til å redusere innslaget av konkurrerende lauvtreslag (lauvtrær) og til å sikre en jevn fordeling av framtidstrærne, men er også en kostbar investering. I 2016 ble ungskogpleie utført på nærmere 268 tusen dekar, til en kostnad på 103 millioner kroner (Statistisk sentralbyrå 2016). Sammen med kostnader knyttet til feilprioriteringer (ikke utført tiltak der det er behov for ungskogpleie, eventuelt at det gjennomføres ungskogpleie uten at det er et reelt behov) samt feltbefaringer påvirker dette den totale økonomien i skogbruket i betydelig grad. Det vil derfor være av stor betydning om det kan utvikles metoder for registerreing av data som kan gi grunnlag for mere kostnadseffektiv og nøyaktig estimering av ungskogpleiebehovet i det enkelte skogbestand. For optimal planlegging, er det avgjørende at bestandsinformasjonen er mest mulig oppdatert og nøyaktig. Den nye standarden for ungskogpleie i barskog, som hele skogbruket i Innlandet står bak, vil være med å gi et økende engasjement og fokus på ungskogpleiebehovet.

Innhenting av informasjon om behov for ungskogpleie er i dag for en stor del basert på manuelle målinger og vurderinger i det enkelte bestand. Dette dels fordi tilstanden i ungskog har vist seg vanskelig å estimere med ønsket presisjon med utgangspunkt i laserdata fra ordinære «storskala» takseringer med flybåren laserskanning (ALS), dels fordi datagrunnlaget fra slik taksering ofte vil være utdatert med tanke på å gi et riktig bilde i rasktvoksende ungskog. Feltbaserte registreringer i det enkelte bestand er imidlertid tidkrevende og dermed kostbart, samtidig som det kan være krevende å få en god oversikt i det enkelte bestand. Målinger i felt kan dermed også være beheftet med usikkerhet, og av varierende kvalitet avhengig av terrengforhold og tretetthet. Ideen bak prosjektet er at vi ser et betydelig effektiviseringspotensial ved å bruke droner til å innhente objektiv og nøyaktig informasjon om tilstanden i ungskog, og samtidig redusere kostnadene knyttet til tidkrevende feltbefaringer.

Det har nylig kommet til flere studier som viser at data fra droner kan anvendes til å modellere sentrale tilstandsvariabler i ungskog, slik som treantall per hektar, trehøyde og treslag (Goodbody et al. 2017; Feduck et al. 2018; Imangholiloo et al. 2019; Puliti et al. 2019). Mulighetene til å anvende denne typen data for operasjonelle beslutninger har imidlertid vært ukjent. En slik viktig beslutning i ungskog er om det er behov for ungskogpleie. I tillegg vil man i den operasjonelle planleggingen ha behov for å kunne estimere kostnadene knyttet til gjennomføring av ungskogpleie i det enkelte bestand.

Som et supplement til andre plattformer for fjernmålingsdata vil bruken av droner kunne åpne opp en mulighet for å produsere bedre beslutningsstøtte for tiltak i ungskog, og dermed for en mere dynamisk operasjonell planlegging enn i dag.

Prosjektets målsetting

Prosjektets hovedmål har vært å «utvikle en metode for å framskaffe nøyaktig og oppdatert informasjon for operasjonell planlegging av ungskogpleie ved bruk av drone». I DRONE-REG prosjektet har vi således både undersøkt hvordan data fra droner kan anvendes til å 1) estimere behovet for ungskogpleie, 2) redusere kostnadene til innsamling av data om det enkelte bestand, og 3) til å estimere kostnadene knyttet til utføring av ungskogpleien.

Sentralt i dette er å utvikle metoder for å bruke rådata fra dronebilder til å generere kartinformasjon som et grunnlag for operasjonelle beslutninger. Dette innebærer at det er lag ten betydelig innsats i å utvikle maskinlæringsmetoder som linker bildedata fra droner til observasjoner og målinger i felt.

Studieområdet

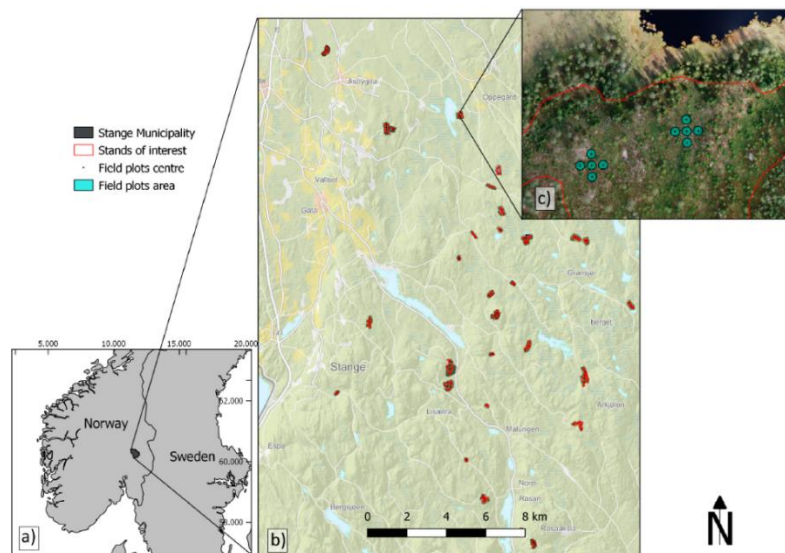
Studiene i prosjektet er utført i Romedal og Stange Almenninger (RASA), Innlandet fylke (60.63° N; 11.41° E). Vi valgte ut 29 skogbestand I hogstklasse 2 med antatt behov for (Figur 1). Bestandene ble valgt med tanke på å dekke opp størst mulig variasjon i bonitet, treslag og bestandsstørrelse. Arealet for bestandene i datamaterialet varierte fra 0,4 til 13 hektar, med et gjennomsnitt på fire hektar, og utvalget er noenlunde likt fordelt på tre klasser av bestandsstørrelse (1-2 ha, 2-5 ha, > 5 ha). Totalt 20 av bestandene var grandominert, med halvparten I bonitetsklasse 11 og halvparten i bonitetsklasse 14 eller høyere. De øvrige 10 bestandene var furudominert, og i bonitetsklasse 11.

Prøveflatedata for utvikling av modeller («bakkesannhet») og felldata for vurdering av ungskogpleiebehov i henhold til standard praksis ble innsamlet av personale fra Mjøsen Skog og RASA i to kampanjer mellom juni og september 2018:

1. *Prøveflatedata for modellutvikling*: Målinger ble utført på sirkulære 50 m² store prøveflater (radius 3,99 m). Prøveflatene ble fordelt med fire prøveflater i hvert av fem clusterne, som ble systematisk plassert innen hvert enkelt bestand. Målingene i prøveflatene omfattet total tretetthet (N ; samlet antall trær per hektar av både bar og lauv), bestandets middelhøyde (H_m ; m). De samme egenskapene ble også registrert kun for framtidstrærne (N_c og H_{c_m}), dvs. de trærne som ble vurdert at man vil sette igjen etter utført ungskogpleie.
2. *Operasjonell behovsvurdering*: Disse dataene ble registrert i henhold til vanlig operasjonell praksis og inkluderer en visuell estimering av N , H_m , N_c og H_{c_m} , samt en loggføring av medgått tid til å gå fra nærmeste vei (parkering) til bestandet, og tid som ble brukt til de aktuelle vurderingene av bestandet (totalt 10 tiner).

Et kart over studieområdet og som illustrerer utleggingen av prøveflater i bestand er vist i Figur 1. En mere inngående beskrivelse av datamaterialet finnes i vedlegg 1 (Puliti, Granhus, and Solberg, 2019) og vedlegg 2

Figur 1. Oversikt over studieområdet og utlegging av prøveflater i enkeltbestand.



Fjernmålingsdataene

Dronedatasettet

Flyging med drone ble gjennomført i august 2018, med en DJI Phantom 4 PRO drone. Flygingen i de ulike bestandene ble gjennomført i løpet av to uker, uavhengig av varierende lysforhold og skydekke. Det ble imidlertid ikke utført flyging ved regn og vindstyrke over 10 m sek^{-1} . Totalt tidsforbruk for å rekke over de 30 bestandene var 5,3 timer. Det inkluderte i tillegg til flytiden også medgått tid til oppakking og rigging av dronen. Den samlede gangtiden fra bilvei og inn til stedet i skogen der dronen ble sendt opp (2,5 timer) kommer i tillegg.

Bildene ble prosessert med Agisoft Photoscan (versjon 1.4.1). Følgende “produkter ble generert for hvert bestand: (1) en ortomosaikk med pikselstørrelse $3 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$, (2) punktsky med tetthet ca. $300 \text{ punkter m}^{-2}$, og (3) en digital overflatemodell (DSM) med pikselstørrelse $6 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}$.

Data fra flybåren laserskanning

Data fra flybåren laserskanning (ALS) utført i 2016 (dvs. to år før feltregistreringene) ble lastet ned fra Hoydedata.no, og ble brukt til å sammenligne resultatene vi fikk ved å bruke data fra droneflygingen.

Gjennomføring

Figur 2 illustrerer den hierarkiske strukturen av informasjonen vi har utviklet med utgangspunkt i dronedataene. Gjennom en kjede fra rådata (bilder) til prosessert produkt (kart) skapes et grunnlag for operasjonell beslutningsstøtte (om å gjennomføre ungskogpleie eller ikke).

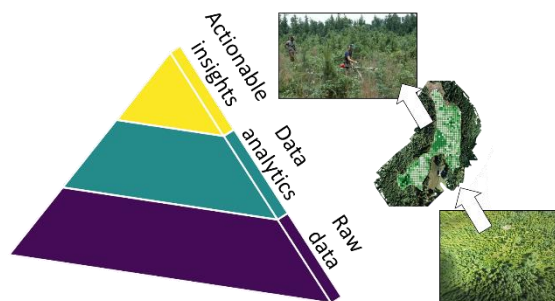


Figure 2. Hierarkisk struktur for informasjonsflyten i DRONE-REG.

Analyser av dronedataene

I et første steg ble forklaringsvariabler fra dronedataene, sammen med data fra prøveflatene, benyttet til å utvikle Random Forest modeller for prediksjon av N , H_m , N_c , and H_{C_m} . Modellene ble deretter anvendt på hvert bestand som var dekket med dronedata, for å generere kart over de modellerte høyde- og tetthetsvariablene. Nøyaktigheten av modellenes prediksjoner ble evaluert både på prøveflate- og bestandsnivå, med hensyn på residualspredding (RMSE) og middelavvik (MD). Prediksjoner for modeller basert på dronedata ble sammenlignet med modeller basert på ALS data og med de målte verdiene fra prøveflatene («bakkesannhet»).

Fra data til beslutningsstøtte

I det eneste steget ble rådata fra dronen og de derav avledete bestandsegenskaper benyttet til å utvikle et beslutningsgrunnlag for å bestemme hvorvidt det er behov for ungskogpleie i de aktuelle bestandene, og til å estimere kostnadene. Data fra den operasjonelle behovsvurderingen, som omfattet 27 bestand hvor behov/ikke behov for ungskogpleie ble klassifisert og kostnadene estimert etter vanlig operasjonell standard, ble benyttet til å tilpasse en binær logistisk modell (behov) og en lineær regresjonsmodell (kostnad). Forklaringsvariablene inkluderte (1) de tidligere utviklede prediksjonene for N , H_m , N_c , and H_{C_m} , 2) rådata fra dronebildene, og 3) informasjon fra den siste tradisjonelle skogbruksplantaksten for området (informasjon fra ALMA).

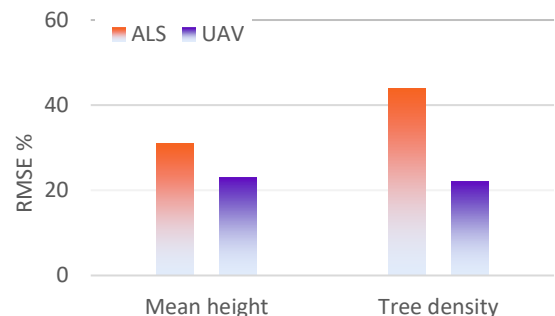
Nøyaktigheten av de genererte variablene ble sammenlignet med tilsvarende resultater ved bruk av både ALS data og tradisjonelle feltmålinger.

Hovedresultater

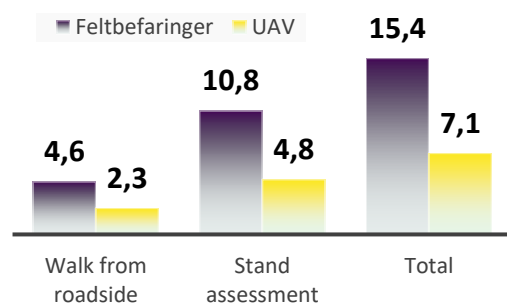
Analyser med utgangspunkt i dronedata

Resultatene fra de innledende analysene der vi genererte tilstandsinformasjon ut fra rådata, se Puliti et al 2019) viste at dronedataene utkonkurrerte ALS dataene med hensyn til nøyaktigheten av prediksjonene (Figur 3). For en nøkkelvariabel slik som treantall per hektar, fant vi at modeller basert på dronedataene ga prediksjoner med dobbelt så høy nøyaktighet som når vi anvendte ALS data for å estimere de samme variablene. Vi kan derfor konkludere med at dronebildene ga det beste grunnlaget for å bestemme om det er behov for ungskogpleie.

Vi fant videre at tidsforbruket knyttet til de manuelle vurderingene var dobbelt så høyt som tidsforbruket med innsamlingen av data når vi brukte drone (Figur 4). Selv om det vil være knyttet et visst tidsforbruk til den videre prosesseringen av dronedataene, er reduksjonen av tidsforbruket i felt så stor at vi trygt kan si at droner vil være kostnadseffektive i en slik sammenheng.



Figur 3. Nøyaktighet (RMSE %) for prediksjoner av middelhøyde og tretetthet



Figur 4. Totalt tidsforbruk for gangtid inn til feltene og vurderinger av skogtilstand ved tradisjonelle feltmålinger

Fra data til beslutningsstøtte

I det andre trinnet i analysene (fra dataprodukt til beslutningsstøtte, se også vedlegg 2), fant vi at behovet for ungskogpleie og de tilhørende kostnadene ble estimert best ved bruk av dronedata (Tabell 1, Tabell 2), særlig når vi i tillegg brukte informasjon fra den siste skogbruksplanen som forklaringsvariabler i modellene. 83 % av bestandene som i felt ble klassifisert til å ha behov for ungskogpleie, ble da med vår modell kategorisert i samsvar med feilvurderingene.

Andelen korrekt klassifiserte bestand uten behov for ungskogpleie var høy uavhengig av hvilke data som ble brukt i modellene – fra 85 til 95%.

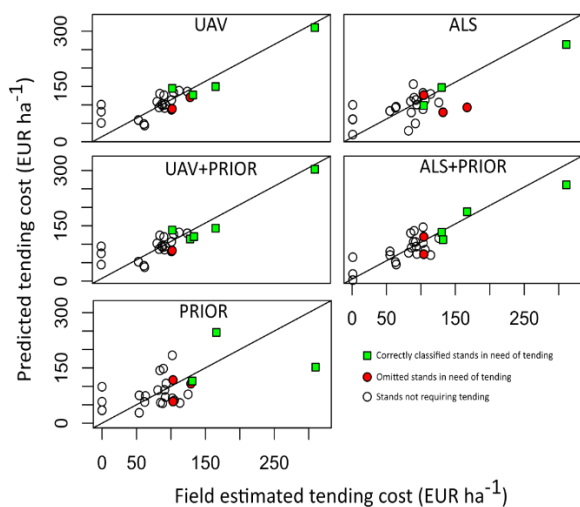
Kun halvparten av bestandene med behov for ungskogpleie ble riktig klassifisert når vi brukte modeller basert på ALS data, noe som bekrefter at estimerer basert på data fra flybåren laserskanning har en lavere nøyaktighet for estimering av tilstandsvariabler i ung skog, sammenlignet med dronebilder. Når vi bruke ALS data sammen med eksisterende informasjon fra den siste skogbruksplanen oppnådde vi imidlertid samme presisjonsnivå i behovsestimeringen som ved bruk av data fra droner alene (Tabell 1), men med dårligere nøyaktighet for kostnadsestimeringen (Tabell 2). Mens bruk av tilleggsinformasjon om bestandene fra skogbruksplan sammen med ALS dataene ga en signifikant forbedring av prediksjonene sammenlignet med å bruke kun ALS data, må en her ta høyde for at kvaliteten av informasjon fra skogbruksplaner kan variere mye, alt etter hvor «fersk» denne informasjonen er.

Tabell 1. Klassifiseringsnøyaktighet for de logistiske regresjonsmodellene som ble testet for predikering av behov for ungskogpleie, gitt ulike datagrunnlag i modellene.

	Overall accuracy	Producer's accuracy		User's accuracy	
		No tending	Tending	No tending	Tending
Drone	84	90	67	90	67
Drone + skogbruksplan	89	90	83	95	71
ALS	81	90	50	86	60
ALS + skogbruksplan	81	85	67	90	43
Skogbruksplan	85	95	50	83	75

Tabell 2. Uavhengig validering for kostnadsmodellene.

	Adj.R ²	RMSE (EUR ha ⁻¹)	RMSE (%)	MD (EUR ha ⁻¹)	MD (%)
Drone	0.86	23.4	14.9	7.8	4.9
Drone + skogbruksplan	0.86	23.4	14.9	7.8	4.9
ALS	0.69	35.5	22.6	23.5	15.0
ALS + skogbruksplan	0.86	31.4	20	16.9	10
Skogbruksplan	0.49	102.7	65.4	31.4	20.0



Figur 5. Spredningsplott for feltestimerte og modellpredikerte ungskogpleiekostnader i hvert bestand, gitt ulike datagrunnlag i modellene (UAV = drone, ALS = flybåren laserskanning, Prior = bestandsinformasjon fra skogbruksplan). Ulike farger indikerer hvordan bestandet ble klassifisert med hensyn på behov for ungskogpleie (grønt = klassifisert riktig & behov, hvit = klassifisert riktig & ikke behov, rødt = feilklassifisert).

avanserte data, kombinert med betydelige kostnadsreduksjoner sammenlignet med gjeldende feltmetoder, indikerer at bruk av droner for informasjonshåndtering om ungskog er en nisjesegment som droner kan brukes operativt til.

Vi har i dette prosjektet demonstrert hvordan rådata fra droner kan bli foredlet til et nøyaktig verktøy for beslutningstaking om tiltak i hogstklasse 2. En videre utvikling langs denne linjen kan være å se på hvilke muligheter og begrensninger som finnes også for andre anvendelsesområder i ungskog. Potensielle anvendelsesområder i skogbruket som det kunne vært nyttig å kartlegge mulighetsrommet for er eksempelvis evaluering av foryngelsesresultat og kontroll av foryngelsesfelt.

Konklusjoner og anbefalinger

Prosjektet DRONE-REG har utforsket nye anvendelser for generering og behandling av data for beslutningsstøtte i skogbruket, basert på data fra droner. Fokuset har vært på anvendelsesområdet ungskog, og prosjektet har dermed vært komplementært til det tidligere prosjektet «Bruk av bildedata i skogbruksplanleggingen» (prosjektledelse v/NORSKOG), der fokuset var på anvendelsesområder i hogstklasse 3-5. Mens nøyaktigheten av droner har vist seg å være svært god for ulike anvendelser i både eldre og yngre skog, fant vi at man med utgangspunkt i dronebilder kan estimere sentrale tilstandsvariabler i ungskog med vesentlig bedre presisjon enn ved bruk av data fra flybåren laserskanning. Samtidig fikk vi som resultat at tidsforbruket knyttet til datafangst i ungskogfelt kan reduseres med opptil 50 prosent sammenlignet med tradisjonelle målinger i felt. Innsamling av data for beslutningsstøtte om tiltak i ungskog framstår derfor som en svært interessant nisjeanvendelse for næringsmessig anvendelse av droner, med betydelig nyttepotensiale.

For både hkl III-V og HKL II-ble data funnet å være svært nøyaktige. UAV utkonkurrerte laserskanningsdata med betydelig margin. Samtidig fant vi at ved å bruke UAV, ble kostnadene ved å skaffe informasjon om fornyelsesskog kuttet med halvparten sammenlignet med feltundersøkelsen.

Forbedringen sammenlignet med moderne

Regnskap og finansiering

Regnskapet er i hovedtrekk i henhold til budsjett. En regnskapsoversikt følger under:

	Oppgave	Timepris (NOK)	Timer 2018	Timer 2019	Timer totalt	Kostnad totalt (1000 NOK)
Glommen Mjøsen Skog SA	Prosjekt-administrasjon	850	30	40	70	59.5
	Innsamling av feltdata		165	0	165	140
NIBIO	Innsamling av data feltdata og data fra drone	1140	175	0	175	200
	Databehandling og analyse		134	200	334	381
	Formidling av resultater		0	335	335	382
Romedal og Stange Almenninger (RASA)	Innsamling av feltdata	627	80	0	80	50
Fylkesmannen i Hedmark	Formidling av resultater	620	40	40	80	50
Sum			588	690	1278	1262

Prosjektet er finansiert av følgende parter:

	<u>2018</u>	<u>2019</u>	<u>Sum</u>
Utviklingsfondet	225	225	450
Verdiskapingsfondet	275	275	550
RASA¹⁾	40	10	50
FMLA Hedmark²⁾	75	75	150
Mjøsen¹⁾	52	10	62
Sum	667	595	1262

1) Egeninnsats (identifisering av bestand, deltakelse/møter i prosjektgruppe m.v.)

2) Herav 25 000 kr i egeninnsats per år, samt 50 000 kr/år i direkte finansiering.

Litteraturliste

Jaakkola, A., Hyyppä, J., Yu, X., Kukko, A., Kaartinen, H., Liang, X., Hyyppä, H., & Wang, Y. (2017). Autonomous Collection of Forest Field Reference—The Outlook and a First Step with UAV Laser Scanning. *Remote Sensing*, 9, 785.

Korhonen, L., Pippuri, I., Packalén, P., Heikkinen, V., Maltamo, M., & Heikkilä, J. (2013). Detection of the need for seedling stand tending using high-resolution remote sensing data. *Silva Fennica*, 47, 2.

Lovdata (2017). Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv. Nedlastet 27.10.2017 fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2015-11-30-1404>.

Luftfartstilsynet (2017). Use of RPAS/Drones in Norway. Available at: http://luftfartstilsynet.no/selvbetjening/allmennfly/Droner/Use_of_RPASDrones_in_Norway

Ørka, H.O., Gobakken, T., & Næsset, E. (2016). Predicting Attributes of Regeneration Forests Using Airborne Laser Scanning. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 42, 541-553

Puliti, S., Ørka, H., Gobakken, T., & Næsset, E. (2015). Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System. *Remote Sensing*, 7, 9632.

Puliti, S., Ene, L.T., Gobakken, T., & Næsset, E. (2017a). Use of partial-coverage UAV data in sampling for large scale forest inventories. *Remote Sensing of Environment*, 194, 115-126.

Puliti, S., Saarela, S., Gobakken, T., Næsset, E., & Ståhl, G. (2017b). Combining UAV and Sentinel-2 auxiliary data for forest growing stock volume estimation through hierarchical model-based inference. *Remote Sensing of Environment*. In press

Skogsstyrelsen (2017). Drönarsatsning region Mitt 2017. In. Uppsala, Sweden: Skogsstyrelsen. Available upon request.

Statistisk sentralbyrå, (2016). Skogkultur. Available at: <https://www.ssb.no/jord-skog-jakt-og-fiskeri/statistikker/skogkultur>

Vepakomma, U., Cormier, D., & Thiffault, N. (2015). Potential of Uav based Convergent Photogrammetry in monitoring regeneration standards. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, 281.