

# Spremljanje hitrosti in načina gibanja uporabnika multimedijske storitve z visokofrekvenčnimi radijskimi signali

Peter Nimac<sup>1</sup>, Urška Levac<sup>2</sup>, Nina Gartner<sup>2</sup>, Jure Janez Markovič<sup>1</sup>, Aleš Simončič<sup>1</sup>, Rok Vidmar<sup>1</sup>, Amadej Vidic<sup>1</sup>, Jakob Gazič<sup>1</sup>, Andrej Košir<sup>1</sup>, Matija Svetina<sup>2</sup>, Urban Burnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

<sup>2</sup>Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Aškrčeva 2, 1000 Ljubljana

E-pošta: nimac.peter@protonmail.com

## Motion and movement tracking of multimedia service users with super high frequency radio signals

**Abstract.** *Using the software defined radio technology, we have created a system users can use to receive a recommended route and mode of transport to desired destination. It works on the continuous-wave Doppler radar principle, to measure user's speed of approach to the device. This is used to determine whether the user is in a hurry. The main reason for this approach is to avoid using the camera and thus increase user's privacy and speed measurement accuracy. We use speech recognition and synthesis in Slovene for human-machine interaction. To create such a system, we reviewed previous psychological studies that link people in a state hurry with those that are under various degrees of stress. From those observations, we designed two experiments in which we tried to provoke users in a state of hurry.*

## 1 Uvod

Spremljanje telesne aktivnosti uporabnikov v zadnjem obdobju postaja predmet številnih raziskav in praktičnih aplikacij. Zbrane podatke uporabljamo na številnih področjih od spremljanja rekreativnih dejavnosti, zdravstvenega stanja, identifikacije ogroženosti starejših oseb (padeč), razpoznavne trenutnega konteksta uporabnika, varčevanju z energijo in v številnih drugih aplikacijah informacijsko-komunikacijske družbe. Podatki o gibanju in kretnjah testnih uporabnikov so lahko tudi pomemben vir informacije v podporo starostnikom ali v analizi medijske izpostavljenosti testnih uporabnikov multimedijskih storitev.

Običajno potrebne podatke zbiramo s pomočjo senzorjev gibanja, ki so na posameznega uporabnika pritrjeni, kot na primer s pametnimi zapetnicami ali s senzorskimi oblačili. Težave pri uporabi nastopijo zaradi potrebe po zanesljivem pritrjevanju senzorjev, pri prenosu podatkov in pri zagotavljanju energije za napajanje merilnih naprav. Te težave odpravljajo sistemi na osnovi računalniškega vida, ki pa pri uporabnikih vzbujajo nelagodje zaradi eksplicitne narave uporabe kamere v procesu zajema podatkov in s tem povezanega potencialnega vdora v zasebnost. Alternativno navedenim sistemom predstavljajo sistemi za spremljanje obnašanja opazovanih oseb na podlagi analize radijskega valovanja v pro-

storu. Tovrstni sistemi so se pričeli razvijati v zadnjem desetletju in v bližnji prihodnosti pričakujemo komercialne rešitve na tej osnovi.

Razvili smo prototipni sistem, ki na podlagi analize visokofrekvenčnih radijskih signalov na neinvaziven način zagotavlja temeljne podatke o gibanju uporabnikov multimedijske storitve. Poleg gibanja, sistem razpozna socialni signal hitenja uporabnika. Poskrbeli smo za integracijo identificiranih podatkov v večmodalni komunikacijski sistem s situacijskim zavedanjem. Podatki o gibanju in hitenju uporabnika dopolnjujejo obstoječe vire, kot so samodejna identifikacija konteksta uporabe, pogojev izvajanja storitve (trenutno vreme) in temeljno detekcijo prisotnosti uporabnika pred medijskim predvajalnikom.

## 2 Metodologija

### 2.1 Programski radio

Radijske postaje so večinoma narejene povsem elektronsko. Če si v mislih celotno radijsko postajo razdelimo na posamezne bloke oz. sestavne dele, bi to bila razna frekvenčna sita, oscilator, mešalnik in ojačevalniki. Vsak od teh sestavnih delov radijske postaje je narejen elektronsko. Radijsko postajo pa lahko izdelamo tudi z uporabo programskega radia oziroma programskega določenega radia (ang. *SDR – Software Defined Radio*). S programskim radiem za opis delovanja posameznih blokov ne potrebujemo električnega vezja ampak jih opišemo s funkcijami v poljubnem programskem jeziku. Edina strojna oprema, ki jo v osnovi potrebujemo za delo s programskim radiem, so frekvenčni uglaševalnik, analogno-digitalni pretvornik in digitalno-analogni pretvornik. Ta enostavnost strojne opreme pri delu s programskim radiem omogoča vsestranskost uporabe za sprejemanje ali oddajanje poljubnega signala. Signal namreč obdelamo na računalniku kot diskreten signal z uporabo diskretne matematike.

### 2.2 USRP B210

USRP (krajše za *Universal Software Radio Peripheral*) je v času pisanja ena izmed najbolj popularnih družin naprav programskih radijev. Gre za visokozmogljive, večnamenske programske radie, ki so večinoma grajeni modularno.

Model B210 pripada seriji radijev, pri katerih komunikacija z osebnim računalnikom poteka prek serij-

skega vodila USB. B210 pokriva frekvenčno območje od 70 MHz do 6 GHz, omogoča dvo-kanalno komunikacijo (2x RX in 2x TX) v polnem duplex načinu z možnostjo uporabe večpotja (ang. *MIMO Multiple-In Multiple-Out*). Pasovna širina prenosa podatkov med radiem in računalnikom znaša 56 MHz (v obe smeri) prek serijskega vodila USB 3.0.

Antene, ki smo jih uporabili pri izgradnji radarja so monopolne antene, ki so prilagojene za frekvenčno območje 5 GHz signala WiFi po standardu IEEE 802.11ac. Na postajo USRP so pritrjene s konektorji SMA.

### 2.3 GNU Radio

Pri uporabi programskega radia obdelavo signalov izvajamo z računalnikom. Za to delo smo uporabili GNU Radio, ki se uporablja predvsem na področju SDR. GNU Radio pa je uporaben tudi za splošno signalno analizo.

Princip dela s tem orodjem si lahko predstavljamo kot risanje poti, po kateri bo potoval signal. To pot imenujemo signalna pot (ang. *flow graph*) in jo izrišemo oziroma sestavimo iz signalnih blokov. Ti bloki predstavljajo frekvenčna sita, signalne ojačevalnike, številčne pretvornike itd. Na začetku signalne poti uporabimo posebne izvorne bloke, iz katerih signal izvira, ter ponorne bloke na koncu, kjer se signalna pot konča.

### 2.4 Dopplerjev radar

Napravo za zaznavanje hitenja smo v tej fazi zgradili kot Dopplerjev radar. Dopplerjev radar je vrsta radarja, ki pri sprejemu odbitega signala uporablja zakonitosti Dopplerjevega pojava za določitev hitrosti premikajočega objekta. Hitrost premikajočega objekta lahko izračunamo po enačbi (1).

$$v = \frac{|f_0 - f_d|}{f_0} c_0 = \frac{\Delta f}{f_0} c_0 \quad (1)$$

Kjer je  $v$  hitrost premikajočega objekta,  $c_0$  hitrost svetlobe v praznem prostoru,  $f_0$  oddajna frekvenca radarja,  $f_d$  sprejeta oz. Dopplerjeva frekvenca in  $\Delta f$  razlika med Dopplerjevo in oddano frekvenco [1].

Dopplerjev radar smo zgradili kot radar CW (ang. *Continuous Wave radar*). Pri tej vrsti radarja tvorimo sinusni signal s frekvenco 500 kHz. Tega nato frekvenčno zamaknemo in oddajamo na frekvenci 5,25 GHz (slika 1). Ko se opazovan objekt (v našem primeru uporabnik) približuje radarju, se, v primerjavi z oddajno frekvenco, Dopplerjeva frekvenca dvigne. V primeru oddaljevanja pa se ta spusti. Frekvenco sprejetega signala izračunamo z algoritmom FFT (ang. *Fast Fourier Transform*), ki računa z vektorskimi bloki signala v velikosti 4096 elementov v frekvenčnem oknu širine  $B_{FFT} = 2$  MHz. Signal pred Fourierovo transformacijo še decimiramo za faktor 128, da izboljšamo frekvenčno ločljivost  $f_r$  (2). Frekvenčna ločljivost po obdelavi znaša  $f_r = 3,8$  Hz, kar da hitrostno ločljivosti  $\Delta v = 0,11$  m/s (3). Rezultat po Fourierovi transformaciji je vektor Dopplerjevih frekvenc.

$$f_r = \frac{B_{FFT}}{128 \cdot 4096} \quad (2)$$

$$\Delta v = \frac{f_r}{2 f_0} c_0 \quad (3)$$

Pythonsko kodo, ki se ustvari na podlagi signalne poti v GNU Radiu, smo dopolnili z enostavno klasifikacijo rezultatov. Predznak Dopplerjeve frekvence poda informacijo o približevanju oz. oddaljevanju uporabnika. Absolutna vrednost Dopplerjeve frekvence pa informacijo o hitenju oz. ne-hitenju. Rezultate po klasifikaciji strnemo v dvobitno število, kjer prvi bit predstavlja približevanje oz. oddaljevanje, drugi bit pa hitenje oz. ne-hitnje uporabnika v danem časovnem trenutku. Ta dvobitna števila pa prek protokola MQTT (ang. *Message Queuing Telemetry Transport*) pošljemo v podatkovno bazo do katere dostopa komunikator.

### 2.5 Priporočilni sistem za izbiro poti do zelenega cilja

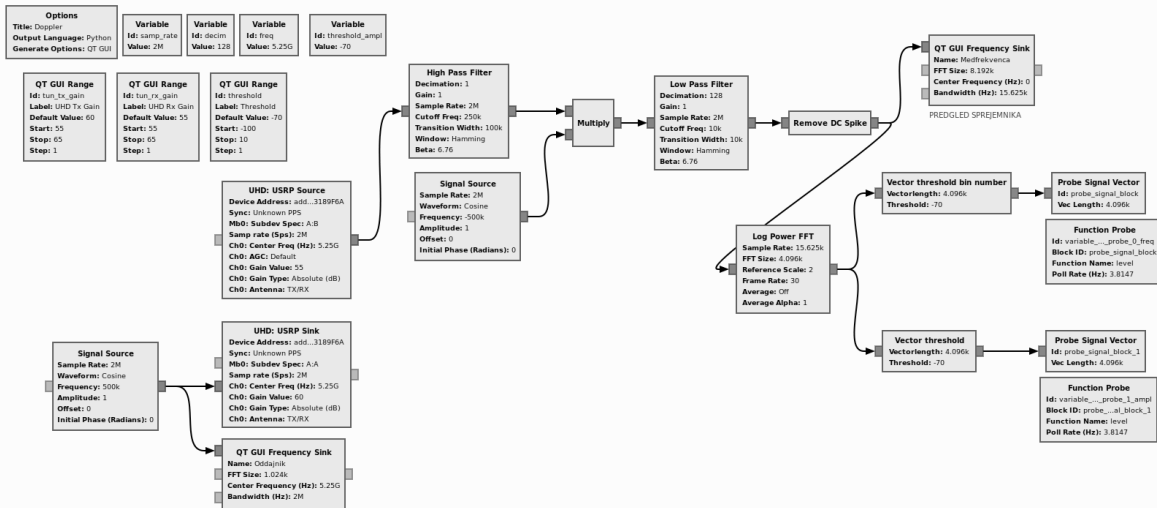
Podatke, ki jih posreduje radar, prevzame glasovni komunikator. Ta deluje po podobnem načelu kot Amazon Alexa, Google Assistant idr. Ti za začetek komunikacije uporabljajo prožilno besedo (frazo) kot je na primer "Alexa!" Ali "Hey Google!" Mi smo namesto prožilne besede uporabili podatke, ki jih posreduje radar saj z njimi dobimo tudi del socialnega konteksta, torej informacijo o hitenju.

Komunikator je zgrajen na mikroročunalniku Raspberry Pi, saj ta omogoča enostaven dostop do interneta, oblčnih storitev in podpira uporabo zvočnih uporabniških vmesnikov. Ker za slovenščino še ne obstajajo celovite rešitve za razpoznavo in sintezo govora smo to rešili z ločenima tehnologijama. Za razpoznavo govora uporabljamo Googleve oblčne storitve, za sintezo pa oblčne storitve Microsoft Azure. Vremenske podatke pridobivamo od Agencije Republike Slovenije za okolje, za navigacijo pa uporabljamo navigacijske storitve podjetja HERE.

Ko komunikator zazna, da se mu je uporabnik približal, ga pozdravi in vpraša o njegovi destinaciji. Destinacija, ki jo uporabnik sporoči komunikatorju je lahko ali naslov ali pa približna lokacija - to navigacijski sistem nato pretvori v koordinate. Komunikator stalno razpolaga s podatki o vremenu, ki nudijo dodatne informacije, na podlagi katerih izpopolni razumevanje trenutnega socialnega konteksta uporabnika. Komunikator nato, glede na pridobljen socialni kontekst, uporabniku priporoči uporabo specifičnih linij mestnega avtobusa ali pa sprehod do zelene destinacije.

### 2.6 Merjenje hitenja

Psihološki del raziskovanja je bil usmerjen v prepoznavanje vidnih znakov hitenja. Hitenje trenutno še ni dobro raziskano področje. Raziskave na tem področju večinoma potekajo preko časovno omejenih eksperimentov, ki prisilijo ljudi, da pri opravljanju določene naloge hitijo. Ljudje so v časovno omejenih pogojih pod stresom, zato smo predvidevali, da bodo znaki hitenja podobni znakom, ki kažejo na stres. Pri raziskovanju literature smo se tako usmerili tudi na vidne znake stresa.



Slika 1: Signalna pot Dopplerjevega radarja v GNU Radiu

Raziskave so pokazale, da so udeleženci, ki so bili časovno omejeni, čutili več aktivacije, bili bolj vzburljeni in bili pod večjim stresom [2]. Pospeseno je bilo dihanje, povečan premer zenice, zmanjšalo pa se je mežikanje [3]. Povišani frustraciji in vznemirjenosti sledi negativno razpoloženje kot je jeza. Stanje jeze pa je povezano z vedenjem, ki je vidno navzven in s fiziološkimi odzivi. Prepozna se lahko z nesramnimi gestami, kletvicami in kričanjem. Med stresom in fiziološkim odzivom obstaja močna povezava. Visoke ravni stresa med drugim vplivajo tudi na porast krvnega tlaka in višji srčni utrip. Raziskava o vedenju pešcev pri prečkanju ceste je pokazala, da ni bilo razlik med spoloma in glede na starost, pri vseh udeležencih je bilo vedenje pod časovnim pritiskom bolj tvegano. Pri hitenju se ljudje hitreje gibajo [4]. Študija o iskanju znakov preobremenitve je ugotovila, da so simptomi in vedenjski znaki, ki se kažejo pri stresu med drugim izguba fokusa, nepotrpežljivost, težave s sprejemanjem odločitev in tresenje telesa [5].

Za merjenje hitenja, kjer smo želeli preveriti delovanje programskega radia in komunikatorja v ekološko veljavnih situacijah, smo izvedli dva eksperimenta. Ekološka veljavnost je predstavljala velik izziv, saj je avtentično hitenje težko izzvati oziroma zaigrati. Eksperimente smo zasnovali stopenjsko, pri čemer smo upoštevali predvidene zmožnosti programske opreme v danem trenutku. Glede na realen razvoj, smo nato eksperimente prilagajali potrebam in trenutnemu raziskovalnemu problemu.

**S prvim pilotnim eksperimentom** smo želeli identificirati opazljive znake hitenja, ki bi služili kot izhodiščna točka za pripravo primerne opreme na merjenje.

**Udeleženci:** dva moška in dve ženski ( $M = 22,8$ ).

**Pripomočki:** kamera, ključ, denarnica, telefon, jakna, torba, štoparica.

**Postopek:** Testno situacijo sta sestavljala dva pogoja, brez časovne omejitve in časovna omejenost na 1 minuto. Vsak udeleženec je sodeloval v obeh pogojih, vendar je vrstni red pogojev med udeleženci variiral zaradi možnega vpliva vrstnega reda pogojev. Testni prostor je

predstavljala dnevna soba v kateri so bili skriti predmeti (denarnica, ključ in telefon). Naloga udeležencev je bila, da v dnevni sobi najdejo skrite predmete, jih pospravijo v torbo, se oblečejo in odidejo iz prostora. Med eksperimentom je bila z udeležencem v prostoru oseba, ki ga je snemala.

**Analiza rezultatov:** Zbrane posnetke smo analizirali in jih poslali 10 zunanjim opazovalcem za višjo objektivnost rezultatov. Ti so pregledali neme posnetke udeležencev in odgovarjali na podana vprašanja: Opazuj in opiši vedenje osebe na obeh posnetkih. Katere so razlike v vedenju (obrazni izrazi, gibanje, neverbalna komunikacija)? Zaradi česa je po vašem mnenju prišlo do teh razlik?

**Rezultati:** Podane odgovore smo semantično uredili in izdelali kategorije opaznih znakov hitenja. V vsako od štirih glavnih kategorij spada več značilnih znakov hitenja: Gibanje telesa (večja intenzivnost gibanja, hitrejša gibanja); obrazni izrazi (namrščeno čelo, beganje z očmi); čustva (jeza, obup, skrb, zmedenost); vedenje (manjša natančnost, nepremišljenost in brezbriznost).

**Drugi eksperiment** je potekal od doma in na fakulteti. Od doma smo izvedli pilotno študijo drugega eksperimenta, v kateri sta bila udeležena moški in ženska, stara 23 in 24 let. Študija je bila namenjena preizkušanju delovanja opreme, ustreznosti navodil ter oblikovanja prostora za eksperiment. V nadaljevanju smo z eksperimentom nadaljevali na fakulteti. Želeli smo pridobiti informacije o razliki v gibanju osebe, ki se ji mudi in osebe, ki se ji ne mudi. Iz pridobljenih podatkov smo želeli najti značilne vzorce in parametre prek katerih bi programski radio lahko klasificiral ljudi v ti dve skupini.

**Udeleženci:** 11 moških in 1 ženska, stari od 21 do 54 let ( $M = 26,4$ ).

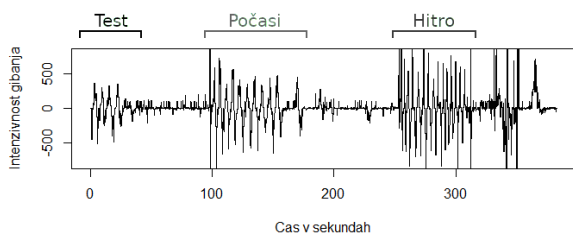
**Pripomočki:** Kinect, programski radio, 15 plastičnih lončkov, štoparica.

**Postopek:** Testno situacijo sta ponovno sestavljala dva pogoja (brez časovne omejitve in časovna omejenost na 1 minuto). Vsak udeleženec je sodeloval v obeh pogojih, vendar je vrstni red pogojev med udeleženci variiral.

Na eni strani prostora je na mizi postavljenih 15 lončkov, na drugi strani pa je označen prostor za zidanje piramide (nizka mizica). Kinect in programski radio (radar) snemata prostor iz sprednje strani, tako da se udeleženec neposredno približuje k radarju oziroma oddaljuje stran od njega. Udeleženec se giblje v ravni liniji od prostora z lončki, do prostora za postavljanje piramide, nad katerim sta Kinect in programski radio. Vsako nalogo je udeleženec začel opravljati pri mizi z lončki. Najprej je 30 sekund hodil v ravni liniji z običajnim tempom, kar nam bo služilo kot kontrola hitrosti. Možno je namreč, da udeleženec začne hiteti tudi v pogoju brez časovne omejitve. Nato so udeleženci dobili navodilo, naj iz lončkov zgradijo piramido. Začnejo na strani kjer se lončki trenutno nahajajo, naenkrat lahko do mizice nesejo le en lonček, piramido pa morajo sestavljati sproti. V pogoju s časovno omejitvijo so dobili še dodatno navodilo, naj bodo čim hitrejši, saj imajo časa le eno minuto.

### 3 Rezultati

S pomočjo drugega eksperimenta smo uspešno pridobili podatke meritev iz obeh trenutno uporabljenih senzorjev, programskega radia in kamere Kinect. Iz podatkov, pridobljenimi s programskim radijem, je jasno razvidno med stanji hitenja in ne-hitenja uporabnika, ko se ta približuje in oddaljuje od senzorjev (slika 2). Intenzivnost hitenja se odraža v amplitudi Dopplerjevega odziva, sama hitrost gibanja pa se odraža v frekvenci Dopplerjevega odziva. Pri vseh udeležencih sta bila opažena povečana intenzivnost in hitrost gibanja v situacijah, kjer smo izzvali hitenje. Kakor smo ugotovili že iz posnetkov prvega eksperimenta. Sočasno pridobljeni posnetki iz Kinecta bodo služili pri pripravi boljše klasifikacije med obema stanjema približevanja ter bodo uporabljeni v nadaljevanju raziskave. Ti bodo uporabni predvsem pri identifikaciji morebitnih nevidnih znakov hitenja.



Slika 2: Graf Dopplerjevega odziva zaradi premikanja uporabnika pred radarjem

### 4 Razprava

Ta pristop trenutno omogoča le grobo klasifikacijo med hitenjem in ne-hitenjem. Pridobljeni rezultati imajo le omejeno veljavnost. V vseh primerih so se uporabniki napravi približevali neposredno, v ravni liniji. Za Dopplerjev radar je to sicer optimalen kot približevanja ampak v realnem okolju se bodo uporabniki napravi približevali

pod različnimi koti. Prav tako je vzorec uporabnikov statistično majhen niti ni dobro uravnotežen po spolu in starosti uporabnikov.

V nadaljevanju raziskave načrtujemo eksperiment, kjer bo komunikator postavljen v živo okolje kot je na primer avla fakultete. V takem okolju bomo lahko zbrali ekološko bolj veljavne rezultate. Tokrat brez uporabe kamere Kinect. Komunikator bo na voljo za uporabo kot priporočilni sistem za načrtovanje poti, hkrati pa bo zbiral podatke o hitenju uporabnikov. Te podatke pa bomo s tehnikami strojnega učenja uporabili za natančnejšo klasifikacijo med uporabniki.

### Zahvala

Rezultati tega dela so nastali v okviru projekta PKP 'Spremljanje lege, gibanja in karakterističnih kretenj uporabnika multimedijske storitve z visokofrekvenčnimi radijskimi signali'. Projekt sta sofinancirala Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada.

### 5 Zaključek

Hitenje je psihološko mnogo zahtevnejše za analizo in ga kot tako ne moremo določiti le na podlagi hitrosti približevanja uporabnika k napravi. Na trgu se trenutno pojavljajo rešitve kot so senzori, ki operirajo z radijskimi valovi v milimetrskem valovnem področju. Ti omogočajo tudi natančno določanje oddaljenosti uporabnika od naprave, kot približevanja in tudi merjenje biometričnih znakov (kot so hitrost dihanja in srčni utrip). Omogočajo pa tudi zaznavanje kretenj. Vse to nam daje dodaten vpogled in informacije, s katerimi lahko naredimo še boljše klasifikacijo hitenja.

### Literatura

- [1] L. N. Ridenour, *Radar system engineering*. New York: McGraw-Hill Book Co, 1947. OCLC: 1104722440.
- [2] C. Oliveras, M. Cunill, M. Gras, M. Sullman, M. Pedra, and C. Figner, "Effects of time pressure on feelings of stress, activation and arousal, and drivers' risk taking behaviour," *Human Factors in Transportation*, pp. 245–248, 2002.
- [3] E. Rendon-Velez, P. M. van Leeuwen, R. Happee, I. Horváth, W. van der Vegte, and J. de Winter, "The effects of time pressure on driver performance and physiological activity: A driving simulator study," *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, vol. 41, pp. 150–169, Aug. 2016.
- [4] B. A. Morrongiello, M. Corbett, J. Switzer, and T. Hall, "Using a Virtual Environment to Study Pedestrian Behaviors: How Does Time Pressure Affect Children's and Adults' Street Crossing Behaviors?," *J. Pediatr. Psychol.*, vol. 40, pp. 697–703, Aug. 2015.
- [5] J. H. Amir Khan, I. Landa, and S. Huff, "Seeking signs of stress overload: Symptoms and behaviors.," *International Journal of Stress Management*, vol. 25, pp. 301–311, Aug. 2018.