

Upotrebljivost mobilnih aplikacija

Sandi Ljubić

Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet

Vukovarska 58, HR-51000 Rijeka

sandi.ljubic@riteh.hr

Sažetak— Vrijeme i komercijalna praksa su pokazali da upotrebljivost mobilnih uređaja i pripadnih mobilnih aplikacija predstavlja ključni faktor za sveopći uspjeh mobilnog i sveprisutnog računarstva. Potrebe i karakteristike korisnika u pokretu, kontekst korištenja mobilnih aplikacija, karakteristike aplikacija te fizička ograničenja mobilnih uređaja – samo su neki od parametara koji direktno utječu na kvalitetu interakcije i koji se moraju uzeti u obzir, kako prilikom oblikovanja odnosnog korisničkog sučelja, tako i kod vrednovanja upotrebljivosti odgovarajućih sustava. Omogućavanjem čim veće razine upotrebljivosti mobilnih aplikacija može se osigurati aktivno smanjivanje tereta interakcije kod krajnjeg korisnika. S obzirom na važnost upotrebljivosti mobilnih aplikacija, ovaj rad adresira navedenu problematiku kroz nekoliko različitih aspekata, pri čemu se navode i opisuju: temeljne definicije iz teorije upotrebljivosti, načini i karakteristike vrednovanja upotrebljivosti, koncept univerzalne upotrebljivosti, specifična ograničenja mobilne domene i povezani problemi upotrebljivosti, primjeri relevantnih istraživanja i naprednih metoda interakcije te osvrt na trenutno stanje i ulogu inženjerstva upotrebljivosti.

Ključne riječi— mobilne aplikacije (*mobile applications*), interakcija čovjeka i računala (*human computer interaction*), upotrebljivost (*usability*), vrednovanje upotrebljivosti (*usability evaluation*), univerzalna upotrebljivost (*universal usability*), zasloni osjetljivi na dodir (*touchscreens*)

I. UVOD

Razvoj sklopovske tehnologije u mobilnoj domeni popraćen je odgovarajućim rapidnim porastom popularnosti mobilnih usluga, povećanjem broja dostupnih mobilnih aplikacija i općenito – podizanjem kvalitete mobilne programske podrške (*mobile software*). U takvom okruženju, kada je pristup uslugama i informacijama različitog sadržaja omogućen doslovno svakom korisniku, u bilo koje vrijeme i na bilo kojem mjestu, postoje brojna područja primjene koja iskorištavaju novu infrastrukturu. Domene postojećih mobilnih aplikacija pokrivaju gotovo svaki aspekt ljudskog djelovanja: posao i financije, edukaciju, igru i zabavu, zdravlje i medicinu, sport, putovanja, društveno umrežavanje i slično. S obzirom na mobilni aspekt na kojem se temelje, odgovarajuće usluge se često imenuju početnim "m" prefiksom, primjerice: *m-banking*, *m-learning*, *m-commerce*, *m-health*, *m-voting* itd. Platforme za izvođenje navedenih aplikacija – mobilni uređaji – iako sve boljih karakteristika i performansi, zbog uvjeta lake prenosivosti ujedno imaju i ograničene mogućnosti. Tipični općeniti problemi, kao što su pristup informacijskim resursima uz relativno malene rezolucije pripadnih zaslona i minijature verzije standardnih tipkovnica koje limitiraju mogućnosti unosa, rezultiraju relevantnim istraživačkim naporima i inovativnim

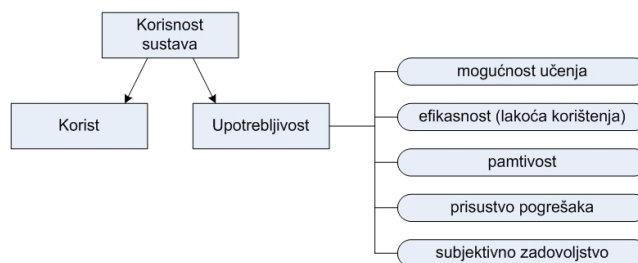
tehnološkim rješenjima (npr. mobilni telefoni sa zaslonom osjetljivim na dodir). Očigledno, korištenje mobilnih usluga (odnosno mobilnih aplikacija) neće (i ne može) biti učinkovito ako se ne prevladaju zapreke i postojeći problemi u interakciji između korisnika i odgovarajućeg mobilnog uređaja. Opća prihvaćenost mobilnih računalnih sustava u velikoj će mjeri ovisiti upravo o upotrebljivosti, zbog čega poseban naglasak treba staviti upravo na oblikovanje dobrog korisničkog sučelja [1] i kvalitetnog modela interakcije unutar mobilnih aplikacija [2]. Iz navedenog razloga, proces razvoja aplikacija za mobilne uređaje mora biti orijentiran korisniku i uključiti svjesnost o mogućim problemima upotrebljivosti (*usability awareness*).

II. UPOTREBLJIVOST

U području interakcije čovjeka i računala (HCI, *Human-Computer Interaction*) od samih je početaka jedan od glavnih motivacijskih faktora (znanstvenih istraživača i razvojnih inženjera) bio osigurati čim prirodniji dijalog korisnika s odgovarajućim računalnim sustavom, kroz korisniku prijateljsko, naklonjeno (*user friendly*) sučelje. S obzirom na različitost krajnjih korisnika i subjektivno svojstvo prilikom ocjenjivanja "prijateljskog sučelja", očigledno je teško formalizirati jedinstvenu mjeru kvalitete korisničkog sučelja. U navedenom se kontekstu zapravo teži izradi upotrebljivog korisničkog sučelja, ili općenitije – računalnim sustavima i uslugama s visokom razinom upotrebljivosti.

A. Definicija upotrebljivosti

Ne postoji jedinstvena definicija ili suvisla jednostavna mjera upotrebljivosti. Međutim, jedan od formalnih iskaza (koji se temelji na pristupu mjerenjem) opisuje upotrebljivost kao atribut kvalitete kojim se procjenjuje koliko dobro i lako korisnici mogu upotrijebiti funkcionalnost sustava, odnosno korisničkih sučelja [3]. Pri tome, upotrebljivost je važan čimbenik opće prihvatljivosti, a može se kategorizirati kao dio korisnosti samog sustava (slika 1).



Slika 1 Kategorizacija i atributi upotrebljivosti

Kao što se može vidjeti na prethodnoj slici, upotrebljivost se temelji na pet atributa (komponente kvalitete): (i) mogućnost učenja (*learnability*) zagovara izgradnju sustava koji je lagan za učenje korištenja, a to znači da korisnik može brzo započeti raditi i efikasno rješavati zadatke, čak i u slučaju pristupa potpuno novom dizajnu, (ii) efikasnost (*efficiency*) pretpostavlja brzo postizanje visoke razine produktivnosti, (iii) pamtnost (*memorability*) se odnosi na povremene korisnike koji bi, nakon izvjesnog razdoblja nekorisćenja sustava, trebali biti u mogućnosti vrlo brzo, na temelju vlastitog iskustva, uspostaviti do tada stečenu razinu vještina korištenja, (iv) prisustvo pogrešaka (*errors*) je atribut kojim se prati kategorizacija, broj pogrešaka i mehanizmi oporavka od pogreške, a (v) subjektivno zadovoljstvo (*satisfaction*) predstavlja svojevrsnu mjeru ugone kod korištenja.

S druge strane, postoji i operativna definicija upotrebljivosti (važna zbog opravdanja provođenja određenih metoda vrednovanja) koja kaže, prema [4], da je upotrebljivost sposobnost izražena u čovjekovim funkcijskim terminima jednostavnog korištenja – do specificirane subjektivne razine – i djelotvornog korištenja – do specificirane objektivne razine (čovjekovog) izvođenja – vezanog za specificiranu skupinu korisnika, a sve u cilju ispunjavanja specificiranog skupa zadataka unutar određenog specificiranog okruženja.

B. Vrednovanje upotrebljivosti

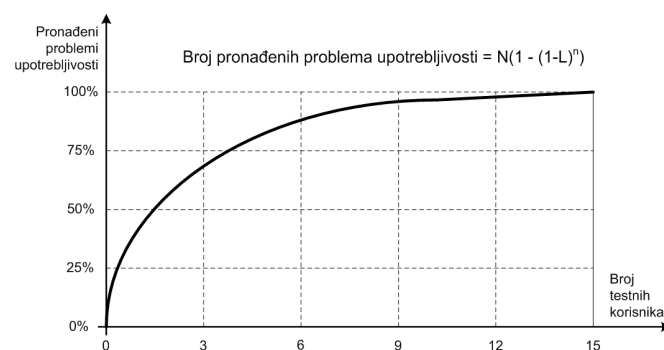
Inženjerstvo upotrebljivosti (*usability engineering*) za svoj specifičan cilj ima formalno vrednovanje upotrebljivosti određenim skupom tehnika i korištenih metrika, a posljedično i izgradnju korisničkih sučelja (i računalnih sustava općenito) sa visokom razinom upotrebljivosti [5].

Vrednovanje upotrebljivosti (*usability evaluation*) predstavlja skup metoda "mjerjenja" čiji rezultati odgovaraju na pitanje koliko dobro ljudi mogu koristiti neki objekt u svrhu za što je taj objekt namijenjen (npr. uređaj, Web-stranicu, korisničko sučelje mobilne aplikacije itd.). Postoje dvije osnovne kategorije metoda vrednovanja upotrebljivosti: (i) metode koje uključuju eksperte iz područja upotrebljivosti (bez uključivanja korisnika) i (ii) metode koje uključuju ispitne korisnike. Kod uključivanja eksperata, tipični pristupi su heurističko vrednovanje sa smjernicama upotrebljivosti (*heuristic evaluation with usability guidelines*) i spoznajno prošetavanje (*cognitive walkthrough*), dok uključivanje korisnika najčešće podrazumijeva kombinaciju testiranja upotrebljivosti (*usability testing, user testing*) i provedbu upitnika i intervjua (*questionnaires, interviews*).

Priprema testa upotrebljivosti obuhvaća pažljivu izradu scenarija ili realne situacije u kojoj korisnik obavlja niz postavljenih zadataka, dok "izvoditelj testa" (promatrač, administrator) gleda i bilježi svoja zapažanja. Tipična i vrlo popularna tehnika koja se koristi za prikupljanje podataka tijekom testiranja upotrebljivosti je "razmišljanje na glas" (*think aloud*) kod koje ispitni korisnik tijekom cijelog procesa izvršavanja stvarnih zadataka govori i time otkriva sva svoja razmišljanja o testnom produktu. Primjer naprednije i sofisticiranije metode je "praćenje oka" (*eye tracking*), kod

koje se koristi video kamera i napredni algoritmi u svrhu automatskog računalnog praćenja korisnikovog vidnog fokusa.

Glavni nedostatak testiranja upotrebljivosti je ovisnost konačnih rezultata o odabiru (kao i o brojnosti) ispitne skupine korisnika [6]. Teoretski, 85% problema u svezi upotrebljivosti programskog produkta može se otkriti koristeći maleni uzorak od svega 5-6 ispitnih korisnika [7] (slika 2).



Slika 2 Nielsen-Landauerova jednačba za količinu pronađenih problema upotrebljivosti i odgovarajuća krivulja za $L=31\%$

U jednačbi sa slike, N predstavlja ukupan broj problema upotrebljivosti, n predstavlja broj ispitnih korisnika, a L postotak pronađenih problema tijekom testiranja samo jednog korisnika. Tipična vrijednost za parametar L jest 31%, što je podatak koji se dobio kao srednja vrijednost na temelju nekoliko provedenih istraživačkih projekata [8].

Istraživanja koja su uslijedila (npr. [9]) adresirala su upitnu efikasnost testiranja na malom skupu ispitnih korisnika, pri čemu su kao glavni nedostaci istaknuti: (i) mala grupa vrlo vjerojatno ne može reprezentirati ukupnu populaciju na koju se odnosi programski produkt koji se testira i (ii) mnogi problemi upotrebljivosti koji se otkriju testiranjem, vrlo vjerojatno će onemogućiti otkrivanje novih zavisnih problema, čime postaje nemoguće prejudicirati postotak problema koji je moguće otkriti bez znanja o njihovoj međusobnoj korelaciji.

U jednom od najrecentnijih radova vezanih za navedenu tematiku ([10]), za optimalan broj ispitnih korisnika predlaže se "pravilo 10 ± 2 ", pri čemu je isto izvedeno na temelju velikog broja već provedenih testiranja. Predloženo pravilo vrijedi kako za najpopularniju metodu "razmišljanja na glas", tako i za metode koje uključuju eksperte iz područja upotrebljivosti.

Konačno, kod vrednovanja upotrebljivosti ne smije se izostaviti mogućnost prediktivnog vrednovanja, postupka kojim se pokušava prejudicirati razina efikasnosti korisničkog sučelja (najčešće kroz očekivanu brzinu rješavanja aplikacijskih zadataka). KLM (*Keystroke Level Model*) [11] je fundamentalna metoda prediktivnog vrednovanja koja koristi vremenske operatore elemenata interakcije za predviđanje trajanja određenog zadatka. S obzirom da je osmišljena za računalne sustave u stolnom (*desktop*) okruženju, postoje značajni naponi za njenim proširivanjem i na mobilnu domenu [12, 13, 14]. Navedena prilagodba metode nipošto nije trivijalna, pogotovo ako se u obzir uzmu novi modeli interakcije (npr. određivanje vremenskog operatora za interakciju gestama na zaslonu osjetljivom na dodir).

C. Univerzalna upotrebljivost

Univerzalna upotrebljivost odnosi se na oblikovanje informacijskih i komunikacijskih produkata i usluga koje su upotrebljive za svakog čovjeka. Koncept je predložio Ben Shneiderman, koji je ujedno i autor praktične definicije univerzalne upotrebljivosti [15]: "kada više od 90% svih kućanstava predstavlja uspješne korisnike informacijskih i komunikacijskih usluga barem jednom tjedno". U istom radu autor tvrdi da je, pri postizanju univerzalne upotrebljivosti računalnih usluga, važno prevladati probleme koji se mogu klasificirati u tri osnovne skupine izazova, kako slijedi: (i) pružanje podrške za veliki broj različitog sklopovlja, programa i raznih vrsta mrežnih pristupa, (ii) prevladavanje individualnih (fizičkih, kognitivnih i sociološko-kulturalnih) razlika među korisnicima, te (iii) prevladavanje jaza između onoga što korisnik zna, i onoga što treba znati o specifičnom sustavu i/ili domeni korištenja.

Konformiranje zahtjevima univerzalne upotrebljivosti u mobilnoj domeni moguće je izvesti odgovarajućim postupcima prilagodbe. Raznolikost tehnologije mobilnih uređaja trebala bi se prevladati oblikovanjem korisničkih sučelja koja se mogu prilagoditi raznim tipovima ciljanih terminala (razvoj platformski neovisnih sučelja). Prilagodba stilu interakcije trebala bi rezultirati odgovarajućim promjenama u sučelju na temelju individualnih preferiranih uzoraka interakcije, čime bi svaki korisnik postao efikasniji. Konačno, automatska prilagodba znanju individualnog korisnika, bez obzira radi li se o razini znanja o samom sustavu ili razini znanja o domeni korištenja, također može osigurati efikasniji rad na aplikacijskim zadacima, i to uz pomoć inteligentnih metoda za preporuku akcija/informacija koje zahtijevaju posebnu pažnju prilikom korištenja.

Trenutno najveća prepreka konceptu univerzalne upotrebljivosti u mobilnoj domeni je prvi navedeni izazov: raznolikost tehnologije mobilnih uređaja. Dok se svojevremeno platforma J2ME (*Java 2 Micro Edition*) činila kao zadovoljavajuće rješenje (otvoreni kod i raspoloživa podrška za gotovo sve mobilne telefone), u novije vrijeme svjedoci smo polarizacije mobilnih aplikacija između dva najpopularnija mobilna operacijska sustava *iOS* i *Android*. Ako se njima pridodaju još uvijek tržišno kompetitivni *Symbian* i *Windows Phone*, ispada da je proces razvoja mobilnih aplikacija još uvijek jako daleko od mogućnosti "univerzalnog oblikovanja".

III. SPECIFIČNE KARAKTERISTIKE MOBILNE DOMENE

Mobilne aplikacije predstavljaju programsku podršku koja se izvodi u okviru odgovarajućeg operacijskog sustava određene mobilne naprave. S obzirom na veliki broj različitih kategorija postojećih m-naprava, postoji i znatna različitost aplikacija specijaliziranih uređaja u širem smislu. Dakako, najinteresantnije, najpopularnije i najutjecajnije su aplikacije namijenjene mobilnim telefonima (naravno, i pametnim telefonima - *smartphones*), a u današnje vrijeme razvoj takvih aplikacija više nije ograničen isključivo na inženjerske timove proizvođača odgovarajućeg modela. Razvojne platforme i alati s vremenom postaju raspoloživi, pa u povećanju broja

dostupnih mobilnih aplikacija može participirati bilo koji krajnji korisnik s dostatnom razinom programerskog iskustva.

Upotrebljivost određene mobilne aplikacije ovisit će o kvaliteti implementacije (posebice: izgled i funkcionalnost korisničkog sučelja), ali vrlo vjerojatno i o tipu ciljanog mobilnog uređaja (npr. različiti "osjećaji ugone" kod korištenja uređaja sa fizičkom tipkovnicom i uređaja sa zaslonom osjetljivim na dodir). U svakom slučaju, čak i kod vrlo pažljivog oblikovanja programske podrške, u radu s mobilnim aplikacijama realno je očekivati probleme povezane sa upotrebljivosti, a koji nastaju kao rezultat tipičnih ograničenja mobilnih uređaja.

A. Ograničenja mobilnih uređaja

1) *Mala veličina zaslona i niske rezolucije*: Ovo ograničenje direktno je uvjetovano željom za što većom prenosivošću mobilnog uređaja. Pri tome, povezani problemi upotrebljivosti odnosit će se na smještaj većeg broja (interaktivnih) objekata na zaslon uređaja, organizaciju prikaza većeg skupa informacija, brzinu i neefikasnost čitanja teksta, adresiranje objekata izvan zaslona u trenutnom fokusu i slično. Uvođenjem zaslona osjetljivih na dodir, dimenzije se proširuju do (približno) veličine samog uređaja (slika 3).



Slika 3 Dio "evolucije" zaslona mobilnih uređaja: Nokia 6267 s rezolucijom 240x320 i dijagonalom 2,2" (lijevo); Nokia N900 sa zaslonom osjetljivim na dodir, rezolucije 800x480 i dijagonale 3,5" (desno)

2) *Malena i ograničena tipkovnica*: Bez obzira radi li se o limitiranoj numeričkoj tastaturi (višestruko utipkavanje za slova, *multi-tap*) ili punoj QWERTY izvedbi, odgovarajuća dimenzija tipki je generalno premala za unos veće količine teksta bez prisustva pogreške. Isto vrijedi i za virtualne tipkovnice koje se emuliraju na zaslonu osjetljivom na dodir (slika 4).



Slika 4 Problematika unosa informacija putem malih tipkovnica (s lijeva na desno): numerička tastatura, puna QWERTY tastatura i virtualna izvedba tipkovnice na zaslonu osjetljivom na dodir

3) *Razina procesorske snage i količina memorije*: Mnoge raspoložive mobilne usluge na Internetu, poput igara ili

audio/video reprodukcije, zahtijevaju jače procesore i veću memoriju. S vremenom su memorijski resursi znatno uznapredovali, ali su još uvijek jako daleko od standarda u stolnoj okolini. Ipak, mogućnost priključenja eksternih memorijskih modula donekle umanjuje posljedice ovog ograničenja.

4) *Trajnost baterije*: Sofisticiranije aplikacije koriste više resursa što uzrokuje češću potrebu za nadopunjavanjem baterije, a osobiti problem predstavlja duže vrijeme upotrebe uređaja bez osiguranog adekvatnog punjača. Baterije su vrlo bitne za samu mobilnost prenosivih uređaja pa postoje značajni napor u području smanjivanja potrošnje energije i produžavanja vijeka trajanja baterija.

5) *Raznolikost tehnologije i standarda*: Bez obzira na otvaranje mnogih razvojnih okolina i alata, manjak standardizacijskih napora (uvjetovano ekonomskim faktorima) ostaje veliki problem. Tako na primjer, mobilnu aplikaciju razvijenu za uređaj tvrtke *Apple* (*iPhone*, *iPad*) nije moguće iskoristiti na drugoj platformi. Slično vrijedi i za operacijski sustav *Android*, a čak je i podrška za Javu, koja predstavlja platformsku nezavisnost, upitna kod određenih proizvođača mobilnih uređaja.

Zbog svih navedenih tipova ograničenja realno je očekivati pojavu problema u radu s odgovarajućim aplikacijama. Pri tome, upravo je otežana interakcija direktno povezana sa općenitim problemima upotrebljivosti mobilnih aplikacija.

B. Općeniti problemi upotrebljivosti mobilnih aplikacija

Budući da ukupni trend razvoja daje naslutiti da će uređaji sa zaslonom osjetljivim na dodir i odnosne aplikacije prevladati na mobilnom tržištu, u ovom dijelu rada analiziraju se glavni općeniti problemi upotrebljivosti mobilnih aplikacija, pri čemu se poseban naglasak stavlja na problematiku interakcije sa zaslonom osjetljivim na dodir. Za svaki od navedenih problema navode se i relevantne inovativne metode interakcije kojima se isti pokušavaju prevladati.

1) *Problem ulazne naprave (unos teksta)*: Postoje mnoge metode interakcije koje pokušavaju poboljšati efikasnost unosa teksta, a većina njih temelji se na unaprjeđenju *multi-tap* tehnike. Konkretno, kod mobilnih uređaja sa klasičnom numeričkom tastaturom glavni je motivacijski faktor smanjiti prosječni broj utipkavanja za prikaz određenog slova (riječi, rečenice, odnosno teksta općenito). Jedna od najpoznatijih i najiskorištenijih takvih metoda je T9 (*Text on 9 Keys*) [16] za prediktivni unos teksta pomoću brzog pretraživanja internog rječnika.

Što se tiče virtualnih tipkovnica na zaslonima osjetljivim na dodir, budući da su one programski emulirane, tehnike poboljšanja uglavnom uključuju adaptivnu promjenu razmještaja tipki. Međutim, iako navedene tehnike teoretski obećavaju povećanje efikasnosti unosa, često su odbojne korisnicima koji su navikli raditi sa pozicijski konzistentnim sučeljima. Jedna od najnovijih inovativnih metoda je *ShapeWriter* koja za unos teksta koristi jednostavne geste prstom na zaslonu osjetljivom na dodir [17] (slika 5). Dokazano je da na ovakav način uvježbani korisnici mogu

pisati puno brže nego uz pomoć konvencionalne virtualne tastature.

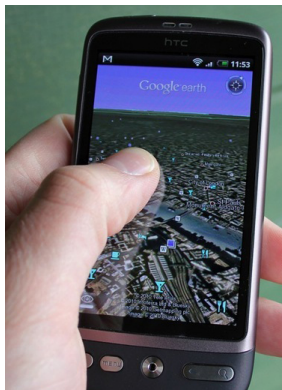


Slika 5 *ShapeWriter* metoda za unos teksta (riječi) koristi jednostavne geste (poteze prstom) na zaslonu osjetljivom na dodir

2) *Veličina interaktivnog objekta i preciznost adresiranja*: Inicijalna istraživanja pokazala su da je, zbog antropoloških karakteristika samog čovjeka, poželjna veličina interaktivnog objekta na zaslonima osjetljivima na dodir 22 mm [18]. Međutim, to je teško ostvarivo na suvremenim zaslonima čija prosječna veličina varira između 3" i 3,5". Kasnije provedene eksperimentalne metode pokazale su da je za efikasno adresiranje (pri korištenju virtualne tipkovnice) prihvatljiva veličina objekta 9,2 mm [19]. Budući da se ovo fiksno "ograničenje" teško može prenositi između različitih mobilnih naprava (različitih rezolucija), u mnogo će slučajeva postojati problem preciznog adresiranja manjih objekata.

Pitanje preciznog adresiranja vrlo je bitno kod mobilnih aplikacija koje pružaju neku vrstu geo-lokacijske usluge, a baš su na takvim primjerima realizirane napredne tehnike interakcije za prevladavanje navedenog problema: metoda "dvostrukog kuckanja" (*TapTap*) i metoda "magnetiziranog štapa" (*MagStick*) [20]. Navedene dvije metode pokazale su se kao izvrsna rješenja jer, osim problema preciznog adresiranja objekta, mogu poslužiti i za aktivno izbjegavanje vizualnog prikrivanja i za efikasno adresiranje objekata smještenih uz sam rub zaslona.

3) *Vizualno prikrivanje*: Bez obzira na koji način korisnik radi sa zaslonom osjetljivim na dodir (jednim palcem, s dva palca, kažiprstom), značajni dio aplikacijskog sadržaja može biti vizualno prikriven. To se odnosi i na sam objekt koji se želi adresirati (tipično skriven ispod jagodice prsta), ali i na veći prikriveni dio zaslona ispod ostatka korištenog prsta (slika 6). Da bi korisnik bio siguran da je unutar aplikacije ispravno odradio određenu aktivaciju dodiranjem, uobičajeno mora pomaknuti prst sa površine ekrana, što uvelike umanjuje efikasnost korištenja. Uvođenje povratne veze (zvučni signal, sila na prst) za ispravnu akciju u ovom bi slučaju bila dobra odluka. Utjecaj prikrivanja se općenito može umanjiti pažljivim razmještanjem interaktivnih objekata na zaslonu (prilikom oblikovanja sučelja), ali je to u mnogim slučajevima jako teško izvesti (tipično kod virtualnih tipkovnica).



Slika 6 Problem vizualnog prikrivanja (*occlusion*) na primjeru korištenja mobilne aplikacije *Google Earth*

4) *Rubna područja zaslona*: Tipično za metodu direktnog dodira (*Direct Touch*), anatomija ruke čini teškim dostizanje rubova odnosno uglova zaslona. Ovo je posebno istaknuto kada se za aktivaciju interaktivnih objekata koristi palac ruke koja ujedno i drži mobilni uređaj. Za očekivati je da će u toj situaciji otežano biti dohvaćanje suprotnog dijagonalnog kuta ekrana (zbog potrebe "razvlačenja" palca), ali i onog najbližeg kuta (zbog potrebe za izrazitim savijanjem palca). GUI elementi smješteni na rubovima i u uglovima ekrana su teško dohvatljivi ne samo zbog kombinacije udaljenosti i anatomije ruke, već i zbog debljine samog okvira (zaslon uređaja je tipično ispupčen ili udubljen) – slika 7.

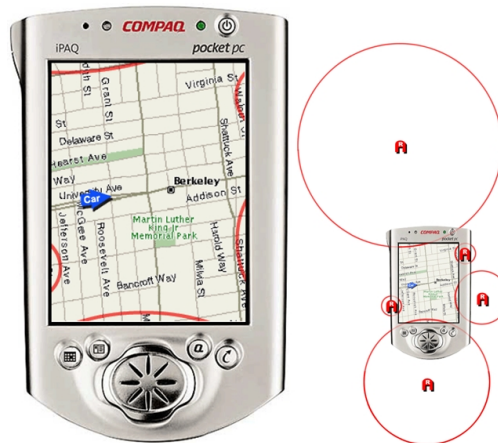


Slika 7 Problem rubnih područja: teže dostupna mjesta na zaslonu uređaja (lijevo), debljina okvira zaslona (desno)

Jedna od poznatijih metoda interakcije koja je razvijena upravo za prevladavanje problema rubnih područja jest metoda "palčanog razmaka" (*Thumbspace*) [21]. Princip rada temelji se na korištenju manjeg dijela zaslona za pobliže adresiranje kompletnog ekrana (slično *touchpad*-u). Posebna odlika navedene metode je mogućnost da korisnik sam definira vlastito adresno područje prema individualnim ograničenjima dohvata. Na taj se način prevladavaju razlike korisnika u smislu jače ruke (ljevak – dešnjak), anatomije i geometrije šake, raspona pokreta i preferiranog načina držanja mobilnog uređaja.

5) *Objekti izvan ekrana u aktivnom fokusu*: Ovo je problem tipičan za mobilne aplikacije koje uključuju pretragu i/ili navigaciju po određenim mapama (tipično geografskim), a odnosi se na vizualizaciju prostorne informacije koja se gubi pri uvećavanju (*zooming*) i pomicanju (*panning*) trenutnog fokusa. Naime, moguće je da se na zaslonu uređaja, unutar aplikacijskog područja, prikaže odgovarajuća mapa bez ijednog objekta od posebnog interesa, ali ne iz razloga što isti ne postoji, već zato što se ne može prikazati u trenutno

aktivnom fokusu (tipičan primjer: mobilna aplikacija za pretraživanje ugostiteljskih objekata u neposrednoj blizini geo-lokacije korisnika). Pri opisanom scenariju korištenja, u navedenom bi kontekstu bilo vrlo korisno na ekranu prikazati grafičke oznake koje bi ukazivale na postojanje objekata izvan trenutno aktivnog zaslona. Poznate metode interakcije koje implementiraju navedenu funkcionalnost zovu se *Halo* [22] i *HOP* [23]. Kod *Halo* metode, objekti izvan zaslona okruženi su zamišljenim prstenima (aureolama) koje u obliku lukova ulaze u područje vidljivog prikaza. S obzirom na zakrivljenost tih lukova, može se izvesti zaključak o stvarnom položaju objekta izvan ekrana (slika 8). Tehnika *HOP* također koristi *Halo* lukove, ali je unaprjeđena s mogućnošću automatskog prebacivanja fokusa prema ciljnom objektu izvan ekrana.



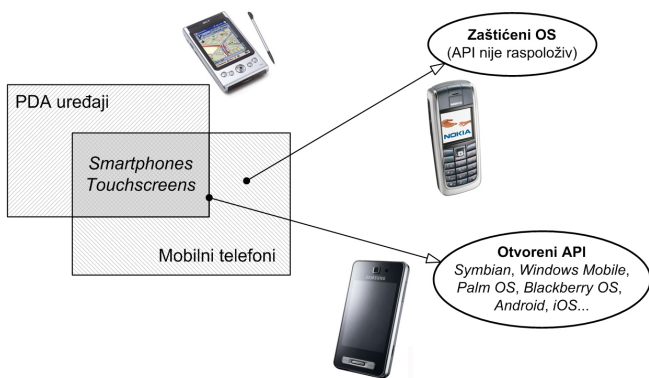
Slika 8 Princip rada i implementacija *Halo* metode za notifikaciju objekata izvan ekrana u aktivnom fokusu

Premda postoje odgovarajuće tehnike i metode interakcije za prevladavanje tipičnih problema upotrebljivosti mobilnih aplikacija, njihova implementacija nije nimalo trivijalna, a ponekad se može činiti i posve nepotrebna. To je posebno prisutno u slučajevima kada se navedeni problemi interpretiraju kao manje smetnje bez prevelikog značaja i utjecaja, prilikom čega svjesno ostaju dijelom mobilnih aplikacija. S druge strane, kumulativni efekt nezadovoljstva korisnika koji pokušava raditi sa loše oblikovanim sučeljem može dovesti do potpunog odbacivanja odgovarajuće aplikacije. Stoga, u procesu razvoja mobilnih aplikacija potrebno je dobro odvagnuti prilikom donošenja odluka o tome kako upravljati problemima upotrebljivosti.

C. Proces razvoja mobilnih aplikacija

Iz perspektive procesa razvoja mobilne programske podrške, mobilni telefoni se generalno mogu podijeliti u dvije osnovne skupine, pri čemu najvažniju međusobnu razliku predstavlja (ne)mogućnost potpore razvoju i izvršavanju novih aplikacija (slika 9). Prva grupa obuhvaća uređaje koji su kontrolirani zaštićenim tipom operacijskog sustava koji je najčešće usko vezan uz tip i model mobilnog telefona (npr. mobilni telefoni tvrtke *Nokia* temeljeni na platformi *Series 40*). Druga grupa (danas mahom puno brojnija) predstavljena je

uređajima koji su temeljeni na složenijim i sofisticiranijim operacijskim sustavima.

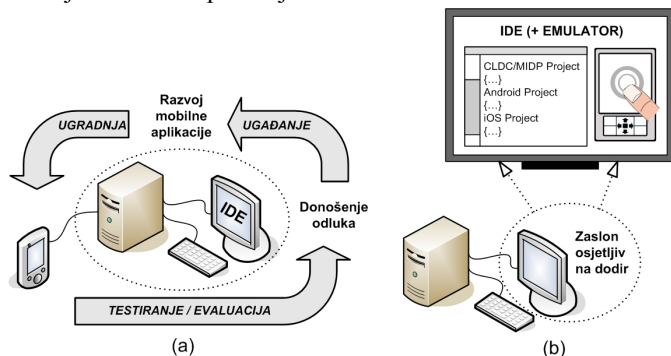


Slika 9 Podjela najčešće korištenih mobilnih uređaja na temelju tipa operacijskog sustava i aplikacijskog programskog sučelja (API)

Kod prve navedene grupe (tipično stariji mobilni uređaji) onemogućeno je izvršavanje aplikacija koje nisu razvili razvojni timovi proizvođača odgovarajućeg modela. Radi se o tehnološki zatvorenim sustavima koji su karakteristični po tome da ne postoji javno dostupan opis pripadnog operacijskog sustava i ne postoji objavljeni API. Aplikacije za takve specifične operacijske sustave su unaprijed implementirane i ugrađene u samom procesu razvoja uređaja, a odnose se na jednostavne programe poput kalendara, telefonskih imenika ili upravitelja multimedijalnim sadržajima.

Druga spomenuta grupa mobilnih telefona temelji se na otvorenom aplikacijskom programskom sučelju kojim se omogućava nezavisni razvoj i instalacija odgovarajućih mobilnih aplikacija. Dodatno, proizvođači dotičnih modela potiču razvoj aplikacija za svoj operacijski sustav na način da omogućavaju razvojnu potporu za široko prihvaćene programske jezike (*C#, Java, Python*) te popularizaciju i/ili komercijalizaciju novoizgrađenih aplikacija.

Bitno je naglasiti da određeni problemi upotrebljivosti mogu nastati i zbog prirode standardnih pristupa procesu razvoja mobilnih aplikacija.



Slika 10 Standardni pristupi procesu razvoja mobilnih aplikacija za zaslone osjetljive na dodir

Kod prvog standardnog pristupa (slika 10a), testiranje i evaluacija mobilne aplikacije (namijenjene zaslonima osjetljivim na dodir) obavlja se na pravom mobilnom uređaju. Na ovaj način programeri mogu odmah dobiti kvalitetan i

precizan uvid u realni odziv aplikacije, ali se istovremeno riskira mogućnost da aplikacijsko sučelje, interakcija (i upotrebljivost općenito) budu usko povezani sa specifičnom skupinom modela uređaja. S druge strane, drugi pristup pretpostavlja korištenje monitora sa zaslonom osjetljivim na dodir i emulatorskih platformi unutar integriranih razvojnih okolina (IDE) – slika 10b. U tom slučaju ciklusi razvoja su puno efikasniji i moguće je paralelno razvijati za različite platforme, ali je u takvom okruženju (kada se interakcija emulira) teško pretpostaviti i evaluirati stvarni "korisnikov doživljaj" (*user experience, UX*). Posljedično, određeni problemi upotrebljivosti mogu biti zanemareni i u konačnici potpuno zaboravljeni (tipično: problem rubnih područja).

Iako svaki od navedenih pristupa procesu razvoja mobilnih aplikacija ima svoje dobre i loše strane, u oba slučaja postoji mogućnost uvođenja ozbiljnih problema upotrebljivosti. Ipak, inženjerstvo upotrebljivosti može, za svaku individualnu mobilnu aplikaciju, identificirati najvažnije probleme, njihov značaj i intenzitet negativnih posljedica, kao i ponuditi adekvatne smjernice za poboljšanje kvalitete. Međutim, sve navedeno podrazumijeva provedbu istraživanja i detaljnog vrednovanja upotrebljivosti korištenjem raspoloživih relevantnih metoda.

IV. PRIMJER PROVEDENE EVALUACIJE: UPOTREBLJIVOST MOBILNOG WEBA

Prilagođeni Web preglednik predstavlja jednu od najznačajnijih i najutjecajnijih mobilnih aplikacija koja je uobičajeno ugrađena u većinu modernih mobilnih uređaja. Pregledavanje Web stranica na malom zaslonu i odnosna interakcija počinju dominirati u aplikacijskoj mobilnoj domeni pa i upotrebljivost mobilnog Web-a sve više dolazi do izražaja.

U okviru poznate *Nielsen-Norman Grupe* [24], sredinom 2009. godine provedeno je istraživanje u području upotrebljivosti mobilnog Web-a [25] koje predstavlja izvrstan primjer kvalitetne evaluacije i analize rezultata. U cilju odgovora na pitanje što Web stranice čini lakim ili teškim za pregledavanje na mobilnim uređajima, kombinirano je više metoda prikupljanja podataka: (i) sedmodnevnom dnevničkom studijom na skupini korisnika istraženi su tipični slučajevi korištenja mobilnog Web-a, a (ii) testiranje upotrebljivosti obavljeno je na nezavisnom ispitnom uzorku (od 48 ljudi) u laboratorijskom okruženju. Pri tome, ispitivala se funkcionalnost 36 postojećih Web stranica pomoću 6 međusobno različitih mobilnih uređaja i njihovih ugrađenih preglednika. Svi ispitni zadaci pripremljeni su na temelju provedene dnevničke studije kojom je dobivena generalna slika korištenja mobilnog Web-a u prirodnijem okruženju (kontekstu) od onog laboratorijskog.

Kao "procjena" upotrebljivosti, u navedenom se istraživanju koristila najjednostavnija metrika: mjera uspješnosti (*success rate*) [26]. Ta se mjera definira kao postotak uspješno i točno provedenih ispitnih zadataka. Radi se o gruboj mjeri koja ne daje odgovore na pitanja zašto korisnik griješi i koliko dobro korisnik obavlja određeni zadatak, ali predstavlja dobar i relevantan statistički iskaz. Mjera uspješnosti vrlo se lako izračunava, s jedinom

iznimkom kod slučaja parcijalne uspješnosti u rješavanju postavljenog zadatka. Naime, uz pretpostavku dva osnovna ishoda: uspješno proveden zadatak (S, *Success*) i neuspješno proveden zadatak (F, *Failure*), određeni tipovi zadataka mogu sadržavati više pojedinačnih akcija što posljedično znači i mogućnost njihova djelomičnog obavljanja. S obzirom da nije opravdano jednako tretirati (bodovati) korisnika koji, vezano uz određeni zadatak, nije učinio ništa i onoga koji je obavio većinu traženog, moguće je uvesti težinski faktor za parcijalno riješene zadatke (P, *Partial*). Težinski će faktor ovisiti o količini (i značaju) učinjenih pogrešaka. Tablica I prikazuje način izračuna mjere uspješnosti za jedan imaginarni zadatak.

TABLICA I
PRIMJER IZRAČUNA MJERE USPJEŠNOSTI
(4 KORISNIKA, 6 ZADATAKA, 9S, 11F, 4P, P=0.5)

	Zad.1	Zad.2	Zad.3	Zad.4	Zad.5	Zad.6	Mjera uspješnosti
Korisnik 1	F	F	S	F	F	S	$(9+4*0,5)/24$ \approx 46%
Korisnik 2	F	F	P	F	P	F	
Korisnik 3	S	F	S	S	P	S	
Korisnik 4	S	F	S	F	P	S	

Rezultati provedenog istraživanja dokazali su da korištenje Weba pomoću mobilnih uređaja nije niti lako niti ugodno, a ukupna izmjerena prosječna mjera uspješnosti bila je 59%. Izvedeno je i nekoliko osnovnih zaključaka: (i) glavni problemi u radu s preglednikom očekivano odgovaraju već navedenim, općim problemima upotrebljivosti u mobilnoj domeni (manjak vidljivih informacija, težak unos podataka, duže vrijeme odziva), (ii) mobilna Web sjedišta (*Mobile Sites*) bolja su od potpunih (*Full Sites*): dobivena prosječna mjera uspješnosti za rad s Web stranicama specifično oblikovanim za pristup mobilnim uređajima iznosila je 64%, za razliku od 53% za slučaj korištenja potpunih Web stranica, (iii) napredniji uređaji imaju bolju mjeru uspješnosti: sasvim očekivano, preglednici na uređajima s većim zaslonom (osjetljivim na dodir) pružaju puno bolju upotrebljivost pri radu sa sustavima Web stranica (75%) nego preglednici na srednjoj klasi pametnih telefona (55%) i na standardnim mobilnim telefonima (*feature phones*) manjih zaslona i numeričkih tastatura (38%).

U sklopu istraživanja proveden je i vrlo interesantni dodatni eksperiment kojim su se testirali zadaci uključeni u studiju upotrebljivosti WAP stranica iz 2000. godine. Iznenađujuće, rezultati su pokazali da korisnici danas u prosjeku trebaju 38% više vremena u obavljanju relativno jednostavnih zadataka (npr. pronaći dnevnu prognozu vremena). Premda su i Web stranice i mobilni uređaji evoluirali, ono što se kroz desetak godina znatno promijenilo jest okruženje korištenja (*usage environment*). Naime, 2000. su WAP telefoni imali tvornički ugrađenu podršku za direktni pristup limitiranom skupu predefiniраниh mobilnih usluga, pri čemu je korisnik mogao dobiti traženu informaciju iz tog skupa kroz svega nekoliko utipkavanja. S druge strane, današnji korisnici mobilnih Web usluga temelje svoju interakciju na pretrazi informacija (*search-dominant*). Ako se za određeni zadatak ne navede

isključiva Web stranica kojoj trebaju pristupiti, prvi izbor će biti favorizirana tražilica. Ovo potonje znači i dosta utipkavanja, što je sporo, često nespretno, a i podložno pogreškama.

Rezultati cjelokupne studije koja je opisana u ovom poglavlju vode ka jedinstvenom zaključku: kvalitetno oblikovanje mobilnih Web aplikacija i odnosnih mobilnih usluga je teško. Za visoku razinu upotrebljivosti Web usluga u mobilnoj domeni postoje dva osnovna izazova: (i) učiniti sadržaj i mogućnosti navigacije jasno istaknutim tako da korisnici lako mogu doći do tražene informacije, te (ii) oblikovati sučelje i interakciju specifično za male ekrane.

V. TRENUTNO STANJE I TRENDOVI INŽENJERSTVA UPOTREBLJIVOSTI

Tradicionalna upotrebljivost sve se teže može ravnopravno nositi sa trenutnim razvojem računalne tehnologije. Prema [27], može se uočiti nekoliko znakovitih trendova koji demonstriraju sve veći i rastući jaz između teorije upotrebljivosti i komercijalne prakse mobilnog i sveprisutnog računarstva:

1) *Mobilne aplikacije postaju dio sve složenijih programskih proizvoda i mobilnih usluga* – Za primjer se može analizirati tipična mobilna usluga za pružanje geolokacijskih sadržaja u kojoj pretraga tražene informacije ovisi o nekoliko različitih aspekata poput: sučelja, modela interakcije i odziva mobilne aplikacije, karakteristika GPS modula, kvalitete poslužiteljskog podsustava i baze podataka. Serijsko testiranje upotrebljivosti pojedinih dijelova navedenog sustava nije dobro rješenje jer se otvara mogućnost previda većih pogrešaka na razini kompletnog rješenja. Da bi se dobili precizni i relevantni rezultati, testiranje takvih produkata mora biti mobilno, modularno i kontekstno, a nijedno od navedenog se ne može kvalitetno ostvariti u klasičnom laboratorijskom okruženju.

2) *Mobilne aplikacije su sveprisutne* – podliježu različitim okruženjima, scenarijima i kontekstima korištenja. Premda je kontekst korištenja oduvijek bio značajan aspekt upotrebljivosti, varijabilnost koju unosi mobilna tehnologija čini cjelokupnu stvar kompliciranijom. Naime, uobičajeno se anticipirani kontekst korištenja jednostavno simulirao: sustav se "mjerio" u uredu, u vozilu, u školi. Međutim, povećana mobilnost i sveprisutnost osobnih uređaja čine predviđanje konteksta korištenja, pa tako i upotrebljivosti, gotovo nemogućim. Testiranje upotrebljivosti se može obaviti za više različitih konteksta korištenja, ali osim očiglednog povećanja cijene samog procesa, ne može se garantirati ispravan odabir iz skupa svih mogućih scenarija. Zbog toga, potrebno je na raspolaganju imati metode evaluacije s mogućnošću obrade neočekivanih (i konstantnih) promjena u kontekstu korištenja.

3) *Brzi razvoj mobilnih aplikacija* – Brz i iterativni razvojni ciklus mobilnog softvera predstavlja opravdanu prijetnju tradicionalnoj upotrebljivosti na dva načina: (i) rapidni razvoj počinje istiskivati potrebu za testiranjem, a (ii) programske zakrpe počinju nadjačavati proces oblikovanja. Tzv. *beta* inačice predstavljaju inicijalni dizajn aplikacije koja se postupno unaprjeđuje s ciljem opće prihvaćenosti. Pri tome,

takvi prototipovi se jednostavno mijenjaju do stupnja konačnog marketinškog uspjeha, a sve bez formalnog pristupa analizi upotrebljivosti. Problemi upotrebljivosti se na taj način ignoriraju sve dok ne postanu integralni dio programskog produkta. Ako aplikacija zadovoljava metriku najbitniju krajnjim korisnicima, s vremenom će pritisak za poboljšanje naizgled nevažnih detalja postupno opadati. Na taj način upotrebljivost postaje dodatak i zakrpa, umjesto inicijalne upravljačke ideje u procesu razvoja.

4) *Korisnici mogu razvijati (i objavljivati) vlastite mobilne aplikacije* – U današnje vrijeme je baza autora mobilnih aplikacija iznimno velika što dokazuju popularni Internet servisi za preuzimanje mobilnih sadržaja (*App Store, Android Market, OVI Store*). Bez obzira na stupanj stručnosti krajnjih korisnika koji rade na implementaciji vlastitog rješenja (ili modificiraju postojeći otvoreni kod) mobilne aplikacije, može se očekivati da ti korisnici budu angažirani, inovativni i kreativni, ali s druge strane, teško je povjerovati da će se većina voditi standardnim smjericama i metodama upotrebljivosti. U takvom okruženju susrećemo se i s problemom varijabilnosti: standardne metode upotrebljivosti baziraju se na sličnostima korisnika, a ne fokusiraju se na individualne inovacije. Ukoliko inovacije potaknute krajnjim korisnicima, usporedno sa njihovim mobilnim aplikacijskim sadržajima, nastave rasti trenutnim tempom, sporadični efekti i neočekivani rezultati mogu početi nadjačavati generaliziranu statistiku upotrebljivosti.

5) *Korištenje mobilnih aplikacija uvodi nove metrike upotrebljivosti* – Tradicionalne metode evaluacije upotrebljivosti, poput heurističkog vrednovanja i laboratorijskog testiranja, fokusiraju se isključivo na ciljeve poput efikasnosti, preciznosti i lakoće korištenja. Navedeni ciljevi u specifičnom okruženju mobilnih aplikacija adresirani su u velikom broju znanstvenih istraživanja. Međutim, do izražaja sve više dolaze nove metrike, poput naklonosti, ovisnosti, lojalnosti i angažiranosti, a koje nije moguće testirati u klasičnim okvirima upotrebljivosti. Pitanje je kako pristupiti navedenim metrikama, koje alate za to koristiti i čemu dati prioritet.

Opisani trendovi nisu samo pokazatelji nekog slučajnog stanja, već naprotiv, strukturalnih promjena u području sveprisutnog računarstva kojima upotrebljivost mora konformirati. Dio navedenoga može se odraditi odbacivanjem zastarjelih tehnika i poboljšanjem postojećih metoda, ali je potrebno dodatno se udaljiti od neadekvatnih testiranja i pomaknuti fokus ka realističnijim i relevantnijim podacima. Inženjerstvo upotrebljivosti pokušava se približiti novom računalnom okruženju kroz nekoliko aktualnih aktivnosti:

- Značajni naponi usmjereni su prema konceptu agilne upotrebljivosti (*agile usability*) s ciljem adresiranja problema unutar rapidnog razvoja programske podrške i pružanja smjernica i preporuka za prilagodbu korisniku usmjerenog oblikovanja (UCD, *User Centered Design*) [28] brzim razvojnim ciklusima.
- Dekompozicijom ispitnih laboratorija na manje i konfigurabilne cjeline želi se omogućiti testiranje u okolini samog korisnika, u njegovom kontekstu

korištenja, za razliku od klasičnog pristupa kada se korisnike (i njihovo uobičajeno ponašanje) želi ograničiti u jednoj laboratorijskoj prostoriji.

- S vremenom evoluiraju "gerilske" metode testiranja upotrebljivosti koje se temelje na iznenadnom i neformalnom pristupu testnom korisniku, a rezultiraju boljim i kvalitetnijim podacima uz istovremeno smanjivanje nepotrebnih informacija. Uobičajeno se izvode u kratkim vremenskim intervalima, mogu raditi sa nepreciznim zahtjevima i učiniti testiranje mobilnim. Tipični predstavnici ove metode su revizije i dodaci klasičnom papirnatom prototipu (*paper prototyping*, [29, 30]) – slika 11.
- Sve češće implementiraju se koncepti suradničkog istraživanja i participativnog oblikovanja (*participatory design*). Pri tome, krajnji korisnici usko surađuju sa razvojnim timovima kroz dnevničke studije, ponavljajuće intervjue i klasična testiranja, čak i prije nego što se započne s konkretnom izradom prototipa određene aplikacije.



Slika 11 Neke od mogućih izvedbi papirnata prototipa u procesu oblikovanja i razvoja mobilnih aplikacija

VI. ZAKLJUČAK

Oblikovanje i implementacija mobilnih računalnih usluga i odgovarajućih mobilnih aplikacija složen je proces kod kojeg posebnu pažnju treba obratiti na veliku raznolikost mobilne tehnologije i značajnu različitost krajnjih korisnika. Posebna se pažnja mora posvetiti oblikovanju kvalitetnih korisničkih sučelja i efikasnih modela interakcije, a jedan od glavnih imperativa i motivacijskih faktora mora biti izgradnja mobilnih aplikacija sa visokom razinom upotrebljivosti.

Općenito govoreći, upotrebljivost mobilnih aplikacija još uvijek nije dostigla zadovoljavajuću razinu, ali ono što ohrabruje jest činjenica da su sve "zainteresirane strane" (krajnji korisnici, razvojni inženjeri, znanstvenici, HCI stručnjaci, dizajneri, eksperti upotrebljivosti) svjesne važnosti postojećih problema, te da imaju zajednički cilj: podizanjem razine upotrebljivosti osigurati kvalitetne mobilne usluge po mjeri svakog korisnika.

Inženjerstvo upotrebljivosti u navedenom kontekstu za cilj ima formalno vrednovati upotrebljivost mobilnih aplikacija, korištenjem najboljih mogućih metoda i metrika, te na taj način identificirati uzroke eventualnih problema i ponuditi adekvatna rješenja i/ili smjernice za poboljšanje. Proces razvoja mobilnih aplikacija mora konformirati pravilima novog računalnog okruženja – i krajnji korisnici i eksperti iz područja upotrebljivosti moraju sudjelovati u iterativnim

razvojnim ciklusima, s time da se korisnost i efikasnost postojećih metoda istraživanja upotrebljivosti mora pomno preispitati.

Područje upotrebljivosti intenzivno se razvija i uvijek pruža nekoliko mogućih smjerova za nova istraživanja. S aspekta mobilnih aplikacija namijenjenih zaslonima osjetljivim na dodir, posebno su zanimljive slijedeće mogućnosti: (i) izvođenje novih smjernica za heurističko vrednovanje upotrebljivosti, tipičnih za mobilnu domenu i odnosne aplikacije, (ii) implementacija radne okoline za evaluaciju interakcije na malim zaslonima osjetljivim na dodir, (iii) razvoj podrške za prediktivno vrednovanje sučelja mobilnih *touchscreen* aplikacija, (iv) komparativna analiza upotrebljivosti mobilnih aplikacija koje se izvode na pravim uređajima i u emulatorskom okruženju.

REFERENCE

- [1] B. Shneiderman, C. Plaisant, M. Cohen, and S. Jacobs, *Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction*, 5th ed., Boston, USA: Addison-Wesley, 2009.
- [2] M. Jones and G. Marsden, *Mobile Interaction Design*, West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd., 2006.
- [3] J. Nielsen. (2003) Usability 101 - Introduction to Usability, useit.com: Jakob Nielsen's Website (Alertbox). [Online]. Available: <http://www.useit.com/alertbox/20030825.html>
- [4] B. Shackel, *Usability – context, framework, definition, design and evaluation*, B. Shackel, S. J. Richardson, Eds. New York, USA: Cambridge University Press, 1991.
- [5] J. Nielsen, *Usability Engineering*, San Francisco, USA: Morgan Kaufmann, 1993.
- [6] H. Thimbleby, *Press On: Principles of Interaction Programming*, Cambridge, USA: The MIT Press, 2007.
- [7] J. Nielsen and T. K. Landauer, "A Mathematical Model of the Finding of Usability Problems," in Proc. Interact'93/CHI'93, 1993, pp. 206–213.
- [8] J. Nielsen. (2000) Why You Only Need to Test with 5 Users, useit.com: Jakob Nielsen's Website (Alertbox). [Online]. Available: <http://www.useit.com/alertbox/20000319.html>
- [9] A. Woolrych and G. Cockton, "Why and When Five Test Users Aren't Enough," in Proc. IHM-HCI'01, 2001, pp. 105–108.
- [10] W. Hwang and G. Salvendy, "Number of People Required for Usability Evaluation; The 10±2 Rule," *Comm. ACM*, vol. 53/5, pp. 130–133, 2010.
- [11] S. K. Card, T. P. Moran, and A. Newell, *The Psychology of Human-Computer Interaction*, Mahwah, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1983.
- [12] L. Luo and B. E. John, "Predicting Task Execution Time on Handheld Devices Using the Keystroke-Level Model," in Proc. CHI'05, 2005, pp. 1605–1608.
- [13] L. Teo and B. E. John, "Comparisons of Keystroke-Level Model Predictions to Observed Data," in Proc. CHI EA'06, 2006, pp. 1421–1426.
- [14] P. Holleis, F. Otto, H. Hussmann, and A. Schmidt, "Keystroke-Level Model for Advanced Mobile Phone Interaction," in Proc. CHI'07, 2007, pp. 1505–1514.
- [15] B. Shneiderman, "Universal Usability - Pushing Human-Computer Interaction to Empower Every Citizen," *Comm. ACM*, vol. 43/5, pp. 85–91, 2000.
- [16] (2011) T9 website. [Online]. Available: <http://www.t9.com/>
- [17] (2011) ShapeWriter website. [Online]. Available: <http://www.shapewriter.com/>
- [18] S. Lee and S. Zhai, "The Performance of Touch Screen Soft Buttons," in Proc. CHI'09, 2009, pp. 309–318.
- [19] P. Parhi, A. K. Karlson, and B. B. Bederson, "Target Size Study for One-Handed Thumb Use on Small Touchscreen Devices," in Proc. MobileHCI'06, 2006, pp. 203–210.
- [20] A. Roudaut, S. Hout, and E. Lecolinet, "TapTap and MagStick: improving one-handed target acquisition on small touch-screens," in Proc. AVI'08, 2008, pp. 146–153.
- [21] A. K. Karlson and B. B. Bederson, "One-Handed Touchscreen Input for Legacy Applications," in Proc. CHI'08, 2008, pp. 1399–1408.
- [22] P. Baudish and R. Rosenholtz, "Halo: A Technique for Visualizing Off-screen Objects," in Proc. CHI'03, 2003, pp. 481–488.
- [23] P. Irani, C. Gutwin, and X. D. Yang, "Improving Selection of Off-Screen Targets with Hopping," in Proc. CHI'06, 2006, pp. 299–308.
- [24] (2011) Nielsen Norman Group (NN/g) website. [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/>
- [25] J. Nielsen. (2009) Mobile Usability, useit.com: Jakob Nielsen's Website (Alertbox). [Online]. Available: <http://www.useit.com/alertbox/mobile-usability.html>
- [26] J. Nielsen. (2001) Success Rate: The Simplest Usability Metric, useit.com: Jakob Nielsen's Website (Alertbox). [Online]. Available: <http://www.useit.com/alertbox/20010218.html>
- [27] K. M. Scott, "Is Usability Obsolete?," *ACM Interactions*, vol. XVI.3, pp. 6–11, 2009.
- [28] M. Detweiler, "Managing UCD Within Agile Projects," *ACM Interactions*, vol. XIV.3, pp. 40–42, 2007.
- [29] C. Snyder, *Paper Prototyping: The Fast and Easy Way to Design and Refine User Interfaces*, San Francisco, USA: Morgan Kaufmann, 2003.
- [30] C. Zwick, B. Schmitz, and K. Kuhl, *Designing for Small Screens*, Lausanne, Switzerland: AVA Publishing, 2006.