Енес ШАКРАК, Влада Брчко дистрикта БиХ, БиХ
Др Милош ДОБРОЈЕВИЋ* Факултет за рачунарство и
информатику, Универзитет Синергија, Бијељина, БиХ

ДОИ: 10.5937/bezbednost2101098S

УДК: 004.383:556.16/.18(497.6)

Прегледни научни рад

Примљен: 26. 9. 2019. године

Датум прихватања: 4. 3. 2021. године

Прототип система за рано упозоравање на бујичне поплаве у брдско-планинским пределима заснован на интернету ствари

Анстракт: Планински рељеф БиХ и сезонска појава великих вода проузрокованих кишама или отапањем снега доводе до појаве бујичних поплава које су у последње две деценије изазвале значајну материјалну штету. Иако хидролошку ситуацију прате Хидрометеоролошки заводи Републике Српске и Федерације Бих, мерне станице су постављене на већим водотоковима, док даљински надзор над планинским подручјима подложним појави бујичних вода не постоји. У овом раду је представљен прототип система раног упозорења на бујичне поплаве заснованог на интернету ствари (ИIoT) који може да прати стање водених токова на неприступачном терену, и да функционише независно или као интегрални део постојећег система одбране од поплава. Основна јединица система је аутоматска мерна станица (АМС) базирана на Ардуино контролеру са одговарајућим сензорима, модулима и напајањем. Малих је димензија и приступачне цене, лака за производњу и постављање, аутономна у раду и способна за бежични пренос података, што је чини погодном за примену на местима где није могућа изградња стандардних мерних станица. Број АМС у систему је флексибилан и зависи од површине територије и воденог слива на којем се врши мониторинг. Веб-сервер са наменском апликацијом складишти, обрађује, анализира и дистрибуира

* mdobrojevic@sinergija.edu.ba

прикупљене податке, а ниво приступа се подешава у складу са реалним овлашћењима у оквиру организационе структуре система за одбрану од поплава. Имплементацијом оваквог система могуће је пратити ситуацију на неприступачним подручјима у сливу и на основу ње проценити време до наилаaska поплавног таласа кроз насељена места, чиме се обезбеђује додатно време за благовремено обавештавање, реакцију и заштиту локалног становништва и материјалних добара.

Кључне речи: *систем раног упозоравања, интернет ствари, бујичне поплаве, Ардуино, веб-апликација.*

Увод

Поплаве су привремено стање када се река или водени ток излије из свог корита, обично проузрокују велику материјалну штету и могу довести до губитка људских живота. Бујичне поплаве временски кратко трају, подразумевају велику количину воде, и могу да активирају клизишта. Могу бити проузроковане временским условима, попут великих кишних падавина или сезонског топљења снега, али их могу изазвати и људи –неадекватним крчењем шума, пољопривредом или непланском градњом објеката (Куспилић, Гиља, 2016).

Босна и Херцеговина је претежно планинска земља, са великим бројем планинских водотокова који пролазе кроз насељена места, што са аспекта безбедности битно повећава ризик од бујичних поплава, али и активирања клизишта која често прате овакву појаву.

Слика 1. Територије држава на Западном Балкану погођене поплавама 2014. године (Glock et al., 2017: 7)

Слика 2. Ризик од поплава у БиХ (Glock et al., 2017: 5)

Међународна банка за обнову и развој (ИБРД) проценила је 2003. године да је у БиХ 4% укупне територије, и чак 60% низије под перманентним ризиком од поплава (Matar et al., 2016: 53). Уколико се фокусирамо на период после 2000. године, до великих поплава је долазило 2001, 2004, 2010. и 2014. године (слика 1), уз огромну штету у пољопривреди, на инфраструктури и на грађевинским објектима (Филијовић, Ђорђевић, 2014: 119). Негативном утицају поплава у овом периоду допринели су недостатак одговарајућих организационих стратегија и процедура и недовољна обука надлежних органа. На основу искуства и података добијених из ових догађаја, 2016. године је на нивоу државе израђена мапа ризика од поплаве (слика 2).

Табела 1. Део кључних активности и планираног буџета у вези са водним ресурсима (UNDP, 2013)

Активност	Изназ	Буџет	Оквир
Развијени ефективни хидролошки информациони системи (смернице, исплативост, приоритети)	Две базе података за хидролошки информациони систем	300.000 КМ	2014-2020
Функционални систем раног упозоравања (софтвер за моделирање, механизам за комуникацију, нпр. веб-страница, упозорења у медијима)	Један систем раног упозоравања	300.000 КМ	2014-2025

Стратегија прилагођавања на климатске промене БиХ, објављена 2013. године у оквиру програма за развој Уједињених нација, између осталог предвиђа активности и буџет везан за водне ресурсе (табела 1) у оквиру кога је потребно развити и имплементирати систем раног упозоравања на поплаве. Међутим, иако хидролошку ситуацију на територији БиХ прате хидрометеоролошки заводи Републике Српске и Федерације Бих, мерне станице су постављене на већим водотоковима. Даљински надзор над планинским подручјима подложним појави бујичних вода не постоји, тако да штабови за заштиту и спасавање немају увид у водостаје речица и потока.

Организација одбране од поплава

Модел организације одбране од поплава може се анализирати на примеру Брчко дистрикта, као територијално посебне целине БиХ. У главном плану одбране од поплава, поплавно подручје се дели на подручја са изграђеним заштитним водопривредним објектима за одбрану од поплава и без њих (Влада Брчко дистрикта БиХ, 2018). Ради ефикасније одбране, организационо се може извршити даља подела на секторе, као и подела сектора на потезе. Добар део изграђених објеката и инфраструктуре наслеђен је из времена бивше Југославије, који су током катастрофалних поплава 2014. године били у запуштеном стању услед неадекватног одржавања.

На овој територији пажњу треба обратити на сликове река Брке и Тиње. Као пример може послужити река Брка чији је ток дугачак свега 37 километара (слика 3). Она извире на планини Мајевица, а код Брчког се улива у Саву. Током поплава 2014. године, бујични талас на овој реци наишао је на већ повишен ниво и успорен ток реке Саве, што је довело до разливања воде у велики број стамбених и пословних објеката, рушења неколико мостова и прекида главне саобраћајнице. Ова дешавања су била брза, бурна, и изазвана комбинацијом поплавног таласа равничарске реке и бујичног таласа планинске реке (Шакрак, 2019).

Слика 3. Територија Брчко Дистрикта и слив реке Брка са притокама

Примена нових технологија у одбрани од поплава

Изузетан технолошки напредак у последње три деценије остварен на пољу дигиталних технологија донео је нове, економски приступачне софтверске и хардверске алате. Четврта индустријска револуција и интернет ствари (енгл. *IoT, Internet of Things*) омогућили су прикупљање података са великог броја сензора, њихову размену са удаљеним електронским уређајима и серверима, као и анализу на основу које се могу аутоматизовати процеси и доносити правовремене одлуке (Schwab, 2015).

Истраживачи и тржиште се интензивно баве проблематиком поплава и начинима да се мобилна телефонија, интернет и ИоТ ефикасно искористе за прикупљање података и праћење ситуације на критичним локацијама. Популаран је концепт примене картичних рачунара за мониторинг појаве воде и њеног нивоа на саобраћајницама и у приобалном подручју река (Santos, Guadaña, 2016; Vunabandi et al., 2015). За снимање ситуације се могу корис-

тити сензори за мерење температуре и влажности ваздуха, брзине ветра, нивоа падавина, ваздушног притиска, нивоа воде и сл. (Dinesh, Regina, 2019: 51). Прикупљени подаци се потом могу интегрисати у веб-сервис Гугл мапс (*Google maps*), чиме се омогућава визуелно праћење водостаја на географској карти (Satria et al., 2017: 1046). Међутим, системи који су доступни на тржишту и који такође користе картичне компјутере, намењени су углавном индивидуалним потрошачима као аутономни алармни системи који детектују поплаву у подрумским просторијама објекта (Instructables AutoDesk Inc., 2015; Programming Electronics Academy, 2019).

Слика 4. Ардуино уно, матична плоча

Картични компјутери и микроконтролери

Картични компјутер је генерички назив за рачунаре и контролере који су величине кредитне картице. Под овим појмом се обично мисли на Ардуино уно (енгл. *Arduino Uno*) и Розбери паж (енгл. *Raspberry Pi*):

- Ардуино уно је микроконтролер, развијен са циљем да омогући брзу израду прототипа електронских склопова;
- Розбери пи је микрорачунар развијен са циљем да ученицима и студентима приближи концепт програмирања.

Ардуино уно (слика 4) креиран је као хардвер отвореног типа који путем пинова омогућава спајање електронских склопова или сензора (Cuartielles, 2013; SparkFun Electronics, 2013). Његове основне предности приликом избора платформе за овакав пројекат јесу:

- прихватљива цена;
- модуларност;
- низак радни напон од 5V и мала потрошња електричне енергије;
- разноврсност на тржишту доступних сензора за читавање физичких величина;
- могућност комуникације путем вај-фај (WiFi) или ГСМ (GSM) мреже.

Ардуино развојно окружење (енгл. *Arduino IDE*) јесте специјализован софтвер за писање скрипти и њихов трансфер на матичну плочу. У том окружењу се пишу релативно једноставне скице (енгл. *Sketch*) у програмском језику Ц или Ц++.

Пренос, агрегација и дистрибуција података

Информације прикупљене путем сензора могу се ка серверу пренети путем:

- бежичне конекције (вај-фај, блутут) или конекције путем каблова (*LAN*), што је погодно за комуникацију у затвореном простору и зградама;
- мобилне мреже, ГППС (енгл. *General Packet Radio Service – GPRS*), путем интернет конекције или СМС порука.

Око 95% територије БиХ покривено је сигналом мобилних оператера, тако да је комуникација путем ГСМ модула (енгл. *Arduino GSM shield*) идеална за трансфер података очитаних на терену ка веб-серверу са одговарајућом мрежном конекцијом и софтвером, који потом примљене информације обрађује и по потреби даље дистрибуира.

Прототип система раног упозоравања на бујичне поплаве

Основни циљ система раног узбуњивања приказаног у овом раду јесте да омогући формирање мреже аутоматских мер-

них станица (АМС) на удаљеним и неприступачним планинским локацијама на којима није могућа изградња стандардом предвиђених мерних станица, али где може доћи до формирања бујица које потом у даљем сливу могу да угрозе становништво и материјална добра. АМС морају бити међусобно независне, малих димензија, једноставне за израду и постављање, и морају имати сопствено напајање које ће им обезбедити аутономни рад без обзира на доба дана, годишње доба или тренутне временске услове.

Свака АМС у систему путем одговарајућих сензора прати ниво водостаја бујичних потока, у којима се количина воде брзо мења те су реални подаци од изразите важности за процену ситуације. На критичним локацијама се уз водоток постављају и сензори вибрације, како би се пратиле вибрације земљишта и евентуално активирање клизишта.

Овако формирана мрежа АМС може да функционише аутономно или као део већег система за рано упозоравање на бујичне поплаве, а подаци које генерише би омогућили надлежним инстанцама да правовремено доносе одлуке о узбуњивању и организацији одбране од поплава.

Слика 5. Шематски приказ система раног упозоравања

Компоненте система

Систем за рано упозоравање чине следеће компоненте (слика 5):

- једна или више АМС;
- веб-сервер са одговарајућом веб-апликацијом;

- веб-сајт;
- систем упозорења.
- Принцип рада система раног упозоравања може се описати кроз следеће кораке (Шакрак, 2019: 34):
- читавање података;
- слање података путем мобилне мреже;
- пријем података и смештање у базу података;
- контролисани приказ података на веб-страници у складу са овлашћењима.

Слика 6. Аутоматска мерна станица (АМС)

Аутоматска мерна станица (АМС)

Аутоматска мерна станица (слика 6) основна је јединица система за рано упозоравање, чији је задатак да очита параметре помоћу уграђених сензора и периодично их путем GSM модула пошаље на веб-сервер. Базирана је на картичном компјутеру Ардуино уно и поседује сензоре температуре, влажности ваздуха, атмосферског притиска и вибрације тла.

Табела 2. Сензори које користи аутоматска метеоролошка станица

Сензор	Опис
DHT 11	Сензор температуре (0-50°C, одступање $\pm 2^\circ\text{C}$) Сензор влажности ваздуха (20-90%, одступање $\pm 5\%$)
BMP 180	Сензор атмосферског барометарског притиска (300-1100 hPa)
Сензор вибрације	Бинарни сензор
Ултрасонични сензор удаљености	Распон мерења 2-500cm Резолуција 0.3cm Хоризонтални угао 15°

Слика 7. Електронске компоненте и сензори АМС

На спољној страни кућишта АМС монтирани су конектори за сензоре удаљености, температуре и влажности, антена за GSM модул, као и прекидач напајања (слика 7). Комбиновано напајање чине две соларне ћелије (12 V, 1,5 W) и литијум-јонска батерија, чиме је обезбеђена аутономија рада система. Захваљујући малим димензијама, АМС се једноставно монтира.

Прототип система за рано упозоравање на бујичне поплаве у брдско-планинским пределима заснован на интернету ствари

Id	T °C	H %	Sava	Drina	P mb	Vibracija
1	27	17	0	0	1011.46	Da
2	25	44	0	0	1.1	Ne
3	25	46	0	0	1005.23	Ne

id Battery	T °C in box	Time
1 7.64	40.69	2019-06-25 11:02:30
1 7.66	40.37	2019-06-25 10:47:28
2 7.52	10	2019-06-22 07:44:41
2 7.52	10	2019-06-22 07:16:57
3 7.3	25.15	2019-06-21 16:12:29
3 7.24	24.21	2019-06-20 20:44:40

Слика 8. Подаци очитани са сензора приказују се у веб-апликацији

Веб-апликација

Веб-апликација је написана у програмском језику ПХП, и налази се на веб-серверу заједно са базом података у којој се чувају подаци примљени са АМС.

Филтрирањем података из базе проналазе се максимуми, минимуми, просечне вредности жељених параметара, а по потреби се могу имплементирати и различите статистичке формуле. Обрађени подаци се приказују на веб-сајту у табеларном формату или у виду графикона у складу са потребама крајњег корисника (слика 8).

Веб-апликацији се може приступити са различитих уређаја, као што су десктоп и лаптоп рачунари, али и мобилни уређаји попут паметних телефона и таблет компјутера.

Слика 9. Пример упозорења путем СМС поруке

Посматрање и узбуњивање

Веб-апликација у правилним временским интервалима освежава приказ података. Приступ делу апликације где се приказују историјски подаци за изабрани временски интервал, графикони и/или упозорења ограничен је на особе са одговарајућим правима за приступ. На основу овако добијених информација и упозорења, надлежне особе имају услове да доносе правовремене оперативне одлуке, попут подизања система одбране од поплава са редовних на ванредне мере.

У критичним ситуацијама, АМС може самостално да пошаље СМС упозорење (*alert*) на предефинисане бројеве телефона особама задуженим за реализацију плана одбране (слика 9). Систем упозоравања имплементиран у оквиру АМС процењује ситуацију према унапред дефинисаним критеријумима, пре свега на основу читавања водостаја.

Слика 10. Упоредни приказ вредности очитаних са сензора у датом временском интервалу

На основу вредности са сензора које АМС измери и пошаље, могу се генерисати дијаграми промене вредности атмосферског притиска, температуре ваздуха, водостаја и напона батерије (слика 10). Иако су приказане вредности добијене читавањем у контролисаним условима, контура графикана јасно може да укаже на потенцијалне аномалије чији узрок може бити природна појава, али и грешка на некој од електронских или енергетских компоненти АМС. Насупрот томе, иако пад напона на дијаграму делује као интензиван, разлика између максималне и минималне измерене вредности износи само 0,4 V.

Закључак

Због рељефа и климатских услова који владају у БиХ, бујичне поплаве сваке године представљају потенцијални ризик за становништво и материјална добра. Ниво водостаја бујичних потока потребно је пратити због брзе промене количине воде, те су реални подаци од изразите важности за процену ситуације у даљем сливу. Хидрометеоролошки заводи Републике Српске и Федерације Бих редовно прате хидролошку ситуацију путем мреже аутоматских мерних станица постављених на већим водотоковима, док даљински надзор водостаја речица и потока у удаљеним и тешко приступачним планинским подручјима подложним појави бујичних вода не постоји.

Имплементацијом система за рано упозоравање на бујичне поплаве описаног у овом раду, може се успоставити мониторинг бујичних водотокова на местима где из техничких или економских разлога није могуће поставити званичне мерне станице хидрометеоролошког завода. Постављањем АМС на вишим тачкама у сливу, обезбеђује се боље разумевање ситуације на бујичним токовима, као и додатно време за обавештавање људи и обезбеђивање материјалних добара.

Систем је у складу са стратегијом прилагођавања на климатске промене БиХ из 2013. године. Скалабилан је и може да покрива територије различите величине и конфигурације терена. Може се користити аутономно са циљем заштите локалног становништва на одређеном водотоку, или у склопу постојећег система одбране од поплава. Веб-апликација, која је интегрални део овог си-

стема, информације може да дистрибуира у складу са овлашћењима у оквиру организационе структуре система за одбрану од поплава.

Пројекат је базиран на технологијама које су постале широко доступне током протекле деценије, попут интернета, картичних рачунара, сензора, издржљивих батерија, соларних хелија и распрострањене мреже мобилне телефоније. Све компоненте и услуге које систем користи доступне су на тржишту и економски изузетно приступачне, док мале димензије и ниска потрошња струје омогућавају брзо и једноставно постављање АМС на неприступачном терену.

Иако је рад фокусиран на проблеме са бујичним поплавама у Брчко дистрикту БиХ, описани систем уз извесне модификације може бити примењив и на територији Србије, као и у осталим државама бивше Југославије које имају сличан рељеф и климу, и где се сваке године јављају слични проблеми.

Аутоматска мерна станица, као основна градивна хелија оваквог система, формирана је као универзална модуларна платформа која се избором одговарајућих сензора може прилагодити специфичним потребама или сценарију употребе.

Уколико је потребно да упозорење система о надолazeћој бујичној поплави брзо допре до бројније популације, информације се након обраде могу аутоматски дистрибуирати применом веб-технологија ка масовним медијима као што су радио и ТВ станице или друштвене мреже.

Прототип система се у досадашњим тестирањима (опитни сто, градски услови) показао као успешан, али је неопходно наставити теренско испитивање како би се утврдила стабилност свих компоненти система у реалним условима. Тек након тога ће бити могуће извршити оптимизацију хардвера, енергетских компоненти и софтвера, чиме би се дошло до финалног производа.

Литература

1. Cuartielles, D. (2013). *Arduino FAQ*. MEDEA Research Lab for Collaborative Media, Design, and Public Engagement, Malmö University, <http://medea.mah.se/2013/04/arduino-faq/>, доступан 20. 7. 2019.

2. Dinesh, D., Regina, A. (2019). Prediction and Effective Monitoring of Flood Using Arduino System Controller and ESP8266 Wi-Fi Module. *International Journal of Communication and Networking System*. 8(1): 50-55.
3. Glock, K., Tritthart, M., et al. (2017). Report on natural disasters in the Western Balkans. *Development of master curricula for natural disasters risk management in Western Balkan countries*, ERASMUS+ project number 573806-EPP-1-2016-1-RS-EPPKA2-CBHE-JP, стр. 5
4. Instructables AutoDesk Inc., (2015). *Basement Flood Alarm – Arduino*. <https://www.instructables.com/id/Basement-Flood-Alarm-Arduino/>, доступан 1. 9. 2019.
5. Matar, S., Matar, N., Balachandran, W., Hunaiti, Z. (2016). Social media platforms and its applications in natural disaster and crisis events – the case of Bosnia & Herzegovina. *Information and Knowledge Management*. 6(5): 50-56.
6. Programming Electronics Academy, (2019). *How to Make an Arduino Water Detection Alarm*. Open hardware design group llc, <https://programmingelectronics.com/how-to-make-an-arduino-water-detection-alarm-project/>, доступан 1. 9. 2019.
7. Santos, R.A., Guadaña, R. R. (2016). Flood detector system using Arduino, *International Journal of Management and Applied Science*, 2(7): 286-290.
8. Satria D., Yana S., Munadi R., Syahreza S. (2017). Prototype of Google Maps-Based Flood Monitoring System Using Arduino and GSM Module. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*. 4(10): 1044-1047
9. Schwab, K. (2015). *The Fourth Industrial Revolution*. Foreign Affairs, Council on Foreign Relations, <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>, доступан 9. 8. 2019.
10. SparkFun Electronics, (2013). *What is an Arduino?* <https://learn.sparkfun.com/tutorials/what-is-an-arduino>, доступан 20. 7. 2019.
11. UNDP – United Nations Development Programme, (2013). *Стратегија прилагођавања на климатске промјене и нискоемисионог развоја за Босну и Херцеговину*.

- https://www.undp.org/content/dam/bosnia_and_herzegovina/docs/Research&Publications/Energy_and_Environment/CC_Adoption_and_Low-Emission_Strategy_BiH/CC_LAT_publish_on_WEB.pdf, доступан 20. 9. 2019.
12. Vunabandi, V., Matsunaga, R., Markon, S., Willy, N. (2015). *Flood Sensing Framework by Arduino and Wireless Sensor Network in Rural-Rwanda*. У: Зборник радова, „2015 IEEE/ACIS 16th International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing (SNPD)“, Takamatsu, Japan: 1-6.
 13. Влада Брчко дистрикта БиХ, (2018). *Одлука о усвајању главног оперативног плана одбране од поплава Брчко дистрикта Босне и Херцеговине за 2018. годину*.
 14. Филијовић, М., Ђорђевић, И. (2014). Утицај мајских поплава на стање људске безбедности у Републици Србији. *Безбедност*, 56(3): 115-128.
 15. Куспилић, Н., Гиља, Г. (2016). *Бујичне поплаве градова и могућност смањења потенцијалних штета*. 8. регионална конференција о сигурности градова, Задар, <https://www.bib.irb.hr/842273>, доступан 14. 9. 2019.
 16. Шакрак, Е. (2019). *ИоТ систем за рано упозоравање на бујичне поплаве у руралним подручјима брчко дистрикта БиХ*. Master rad, Univerzitet Sinergija, Bijeljina.

Early Warning System Prototype on Torrential Floods in Mountainous Areas Based on the IoT

Abstract: *Bosnia and Herzegovina is predominantly mountainous country with many settlements located near rivers. The characteristic terrain and seasonal occurrences of large amounts of water, due to rainfalls or snowmelt, make Bosnia and Herzegovina a country at a constant risk of flooding. Although the weather and hydrological situation in the territory of BiH is monitored by two hydrometeorological services, one from the Republika Srpska and the other from the Federation of BiH, automatic measuring stations have been set on the main watercourses, while remote monitoring of distant mountain areas subject to sudden emergence of torrential waters has not been established. A prototype of an IoT based torrential floods*

early warning system presented in this paper could solve this problem, being capable of monitoring watercourses in remote and inaccessible terrain. This system may be set to function autonomously, or as an integral part of an existing flood defense system. The basic unit of the system is an automatic measuring station (AMS) based on an Arduino controller with appropriate sensors, modules and power supply. Being small in size and affordable, easy to manufacture and setup, autonomous in operation and capable of wireless data transmission, makes AMS suitable for applications where use of standard metering stations is not possible. Number of AMSs in the system may vary and depend on the size of territory and water basin being monitored. Web server with custom developed web application collects, processes, analyses and distributes data, while access level is set in correspondence with real-life authorization levels within the organizational structure of the flood defense system. Implementation of such system may provide monitoring of the situation in inaccessible areas in the basin, and assessment of time remaining until the flood wave reaches populated places. This will provide enhanced situation awareness and an additional window of opportunity for timely notification, reaction and protection of the local population and material goods.

Keywords: *Early Warning System; Internet of Things; torrential floods; Arduino; web application.*