Programirljiva prstna vrtavka za prikaz besedila ali grafike po principu vztrajnosti vida

Matej Nogić, Ernest Gungl, Zmago Brezočnik

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor
E-pošta: matej.nogic@student.um.si, ernest.gungl@um.si, zmago.brezocnik@um.si

Programmable Persistence of Vision Fidget Spinner for Display of Text or Graphics

Abstract. *This paper presents our four-wing fidget spinner, a finger-spun propeller that displays an arbitrary image, either text or graphics, as an optical illusion according to the persistence of vision. It has several advantages over many of the available persistence of vision fidget spinners on the market including the well-known device of Microchip.*

1 Uvod

Prstna vrtavka za prikaz besedila ali grafike je rotirajoča naprava, ki deluje po principu vztrajnosti vida (slika 1).

Slika 1: Prstna vrtavka za prikaz besedila ali grafike

Prikaz dosežemo s hitrim premikanjem stolpca svetlečih diod po krožni poti, kjer v vsakem trenutku z njim prikažemo le delček celotne slike ali besedila. Opazovalec vidi celotno sliko, če čas, v katerem so prikazani vsi posamezni deli slike, ne presega časa vztrajnosti vida človeškega očesa [1, 2].

Naša izvedba naprave je nastala v okviru študentskega projekta po vzoru prstne vrtavke podjetja Microchip [3]. Obe izvedbi za natančno pozicioniranje besedila ali grafike med vrtenjem vrtavke, ne glede na hitrost vrtenja ali pospešek, namesto programske rešitve uporabljata namenski strojni modul, imenovan kotni časovnik (Angular Timer – AT) [4]. Vsebino prikaza je pri obeh izvedbah mogoče spreminjati tudi med vrtenjem vrtavke prek povezave Bluetooth Low Energy (BLE).

V primerjavi z vrtavko podjetja Microchip ima naša več prednosti. Z namenom doseganja različnih barvnih učinkov in večje ločljivosti besedila ali grafike ima namesto enega stolpca z osmimi svetlečimi diodami dva stolpca s po šestnajstimi. V enem stolpcu so diode rdeče, v drugem pa zelene. Namesto bipolarnega Hallovega senzorja in dveh magnetov, ki morata biti obratno orientirana, smo uporabili omnipolarni senzor [5] in samo en magnet, katerega orientacija ni pomembna, kar poceni čas in stroške montaže. Vrtavka podjetja Microchip se napaja s tremi zaporedno vezanimi gumbnimi baterijami CR2032, naša pa z zaporedno-vzporedno vezavo štirih takšnih baterij. Na ta način je dosežena večja učinkovitost pretvornika na 3,3 V napajalno napetost in s tem daljša življenjska doba baterij. Ta se poveča tudi zaradi samodejnega izklopa napajalne napetosti, če naprava ni aktivna. Iz neaktivnega stanja jo zbudimo z uporabo namenskega vezja, katerega osrednji del je kapacitivno stikalo. Merjenje kapacitete baterije je izvedeno s pomočjo integriranega stikala v pretvorniku za 3,3 V, ki omogoča dodatno zmanjšanje porabe energije. Vse komponente so skrbno izbrane iz skupine komponent z nizko porabo.

Blokovna shema naprave in opis uporabljenih komponent sta podana v poglavju 2. Zasnova programske opreme, ki se izvaja v sami napravi in tiste na osebnem računalniku, je opisana v poglavju 3. V poglavju 4 prikažemo realizacijo naprave in preizkus njenega delovanja. V sklepu ovrednotimo dosežene rezultate in nakažemo morebitne izboljšave in nadgradnje.

2 Strojna oprema

Blokovna shema strojne opreme naprave je prikazana na sliki 2. Osrednji del predstavlja 8-bitni mikrokrmilnik PIC16F1619 proizvajalca Microchip [6]. Njegova glavna naloga je v ustreznem časovnem sosledju polniti 16-bitna pomikalna registra (POMR), na katera je priključenih 16 zelenih in 16 rdečih svetlečih diod. Pomikalna registra sta namenska tokovna gonilnika svetlečih diod LED [7]. Vsaka polnitev pomikalnih registrov predstavlja en stolpec prikazane vsebine (npr. prvi stolpec črke E na sliki 1). Za natančno pozicioniranje besedila uporabljamo kotni časovnik [4], ki se nahaja v mikrokrmilniku. Kotni časovnik določa pozicijo besedila na osnovi informacije, ki jo prejme od Hallovega senzorja [5]. Hallov senzor se nahaja na rotorju vrtavke (del vrtavke, ki se vrti) in sporoča periodo vrtenja kotnemu časovniku ob preletu mimo magnetka (M) na statorju (negibni del, namenjen držanju vrtavke). Spreminjanje prikazane vsebine na vrtavki je omogočeno prek modula Bluetooth Low Energy RN4871 [8] prizvajalca Microchip in kapacitivne tipke. Ker uporabljene elektronske komponente za svoje delovanje potrebujejo napajalno napetost 3,3 V, v vezju pa uporabljamo baterije CR2032, ki v uporabljeni vezavi generirajo napetost 6V, uporabimo za znižanje napetosti DC/DC pretvornik TPS62745 [9] proizvajalca Texas Instruments. Da bi zmanjšali porabo energije, smo razvili namensko vezje, ki baterijsko napetost po potrebi priklopi oziroma odklopi (VKLOP/IZKLOP). Vezje vključimo z dotikom kapacitivne tipke, priključene na

Slika 2: Blokovna shema strojne zasnove naprave

kapacitivno stikalo PCF8883 [10], ki je del vklopno-izklopnega vezja. Po preteku petih minut brez aktivnosti mikrokrmilnik napajalno napetost izklopi (S1). S pomočjo analogno-digitalnega pretvornika (AD) meri kapaciteto baterij na osnovi padca napetosti na napetostnem delilniku (pred tem vključi stikalo S2). Sledi podobnejši opis delovanja posameznih delov vezja.

2.1 Napajalni del naprave

Slika 3 prikazuje napajalni del naprave. V vezju so nameščene štiri 3-voltne baterije CR2032. Po dve bateriji sta vezani zaporedno, s čimer dosežemo napetost 6V, ki jo peljemo na vhod pretvornika TPS62745 za znižanje enosmerne napetosti. Želeno izhodno napetost pretvornika 3,3 V smo izbrali z ustrezno nastavitvijo vhodov VSEL1 do VSEL 4. Pretvornik ima zelo majhno porabo (400 nA). V načinu izklopa (vhod EN je na nizkem nivoju) se poraba zniža na 130 nA. Pretvornik uporablja integrirano notranje napetostno stikalo, ki preklopi vhodno napetost VIN na izhodni priključek VIN_SW, ko je vhodni priključek EN_VIN_SW na visokem logičnem nivoju [9]. To lastnost smo s pridom izkoristili za merjenje napetosti baterije, ki jo s pretvornikom AD merimo kot padec napetosti na napetostnem delilniku, določenim z uporoma R1 in R2 (slika 2). Tako teče tok čez napetostni delilnik le v času merjenja električne napetosti.

Slika 3: Napajalni del naprave

2.2 Namensko vezje za znižanje porabe

Že sama izbira komponent zagotavlja nizko porabo energije, ki smo jo še dodatno znižali z izdelavo namenskega vezja za vklop in izklop naprave (slika 4). Ob dotiku kapacitivne tipke, priključene na kapacitivno stikalo PCF8883 [10], aktiviramo izhod vezja EN, ki omogoči pretvornik za znižanje enosmerne napetosti TPS62745 (slika 3). Ko pritisnemo na kapacitivno tipko (vhod CAP na sliki 4), se prek vhoda 2 vrat U3 aktivira izhod EN in naprava »oživi«. Zdaj se aktivira signal ON, ki prek vhoda 1 vrat U3 zagotavlja napajanje tudi po spustitvi tipke. Mikrokrmilnik po preteku petih minut neaktivnosti onemogoči pretvornik (poraba 130 nA) in s tem prekine dobavo električne napetosti 3,3 V.

Slika 4: Vezje za vključitev in izključitev naprave

2.3 Gonilnik svetlečih diod

Za poganjanje svetlečih diod sta uporabljena 16-bitna pomikalna registra TLC59282 (slika 5), ki sta povezana v kaskado (podatkovni izhod SOUT prvega vodi na podatkovni vhod SIN drugega). Izhodni del pomikalnega registra (OUT0 do OUT15) je 16-kanalni gonilnik svetlečih diod z zmožnostjo ponikanja konstantne vrednosti toka, nastavljene z uporom na priključku IREF.

Vrednost upora R_{IREF} v kΩ izračunamo iz izraza (1), kjer je I_{LED} želeni tok skozi svetlečo diodo v mA in V_{REF} referenčna napetost 1,205 V [7].

$$I_{LED} = \frac{V_{REF}}{R_{IREF}} \cdot 41{,}9 \qquad (1)$$

Uporabljene svetleče diode so serije APTD in KPTD proizvajalca Kingbright. Ker je pri nominalnem toku 2 mA svetilnost uporabljenih rdečih svetlečih diod 150 mcd, svetilnosti zelenih pa 440 mcd, smo s primerno izbranima uporoma (R_{IREF1} = 16 kΩ in R_{IREF2} = 25,2 kΩ) dosegli tok 3,15 mA skozi rdeče in tok 2 mA skozi zelene diode in s tem približno enako svetilnost enih in drugih.

Slika 5: Priključitev svetlečih diod

2.4 Kotni časovnik

Kotni časovnik [4] je pomemben del naše naprave, ker zagotavlja natančno lociranje besedila ali grafike in razbremeni procesor. Ob vsakem polnem obratu vrtavke Hallov senzor generira impulz, ki gre na vhod kotnega časovnika. Čas med dvema zaporednima impulzoma tako ustreza kotu zasuka 360º. Strojna oprema kotnega časovnika razdeli periodični vhodni signal na 180 enakih intervalov in tako sproži prekinitev na mikrokrmilniku na vsaki 2º zasuka vrtavke. V prekinitvenem programu se za vsak položaj vrtavke, ki zahteva spremembo vsebine prikaza glede na prejšnji položaj, pošlje ustrezna bitna kombinacija na stolpca LED.

2.5 Modul Bluetooth Low Energy

Pri odločitvi za izbiro komunikacijskega modula Bluetooth Low Energy proizvajalca Microchip so nas prepričale njegove majhne dimenzije in predvsem nizka poraba energije (2,9 µA v mirovanju). Modul ima vgrajeno keramično anteno in komunicira z mikrokrmilnikom prek vrat UART [8].

Komunikacija med modulom in PC-jem poteka prek Bluetooth Low Energy protokola GATT (Generic Attribute Profile), ki določa organizacijo in izmenjavo podatkov med različnimi aplikacijami [11]. Osnovan je na protokolu ATT (Attribute Protocol), ki je njegov transportni protokol. GATT je namenjen odkrivanju storitev (Services) ter branju in spreminjanju karakteristik (Characteristics), povezanih s storitvijo. Karakteristika predstavlja vrednost podatka, ki ga prenašamo med odjemalcem (PC) in strežnikom (vrtavka). Storitve se razlikujejo po 16 ali 128-bitnem univerzalnem unikatnem identifikatorju UUID in so s pripadajočimi karakteristikami zbrane v navidezni zbirki, imenovani profili (Profiles). Vsaka karakteristika ima tudi svoj UUID oziroma oprimek (handle), ki omogoča njeno identifikacijo.

V tem projektu je uporabljen en servis s tremi karakteristikami (tabela 1). Prva karakteristika v tabeli je namenjena upravljanju 32-ih svetlečih diod v času mirovanja naprave, druga prikazu besedila med rotacijo vrtavke in zadnja izbiri barve besedila.

Tabela 1. Tri karakterstike znotraj storitve

Storitve UUID			
DABEB8B482AF42A8B35716F80B374EE2			
Oprimek	Namen	Velikost	Dovoljenja
0092	LED v mirovanju	0x14	W/R
0095	Rotirajoči LED	0x14	W/R
0098	Barva – rotirajoči LED	0x02	W/R

3 Programska oprema

Slika 6 prikazuje strukturo programske kode, ki se izvaja v mikrokrmilniku in na osebnem računalniku PC. Programska koda, ki se izvaja na mikrokrmilniku, je napisana v programskem jeziku C in izvede najprej inicializacijo uporabljene periferije (PLL sistemska ura 32 MHz, vhodno-izhodni priključki, kotni časovnik, UART, zunanje prekinitve). Po uspešni inicializaciji mikrokrmilnik prek povezave Bluetooth LE prejema od PC-ja zahteve o vsebini na vrtavki in čaka na prekinitve kotnega časovnika za prikaz grafike.

Slika 6: Struktura programske opreme

Aplikacija, ki se izvaja na PC-ju, je napisana v okolju NI LabVIEW podjetja National Intruments. Prek nje pošiljamo zahteve glede barve in vsebine prikazane grafike do mikrokrmilnika. Ker aplikacije, zapisane v okolju NI LabVIEW, trenutno ne znajo neposredno komunicirati prek protokola Bluetooth Low Energy, smo uporabili programski strežnik HTTP NI BLE podjetja National Instruments, ki ga namestimo na PC-ju [12]. Strežnik ustvari most med aplikacijo NI LabVIEW in vmesnikom Bluetooth Low Energy na PC-ju, tako da aplikacija LabVIEW komunicira prek protokola HTTP na vratih 5000 s strežnikom, ta pa z mikrokrmilnikom prek protokola Bluetooth Low Energy.

Za generiranje pisave smo uporabili brezplačno aplikacijo »The Dot Factory« in zapisali pomožno aplikacijo v LabVIEW za modificiranje generiranih pik za znake. Pomožna aplikacija dve 8-bitni vrednosti, ki predstavljata pike posameznega stolpca (diode LED), združi v 16-bitno vrednost in izvede ustrezne pomike bitov, s čimer kompenzira neskladnost fizičnega zaporedja svetlečih diod, do katerega je prišlo zaradi omejitev pri povezovanju linij na dvostranski tiskanini z zaporedjem bitov izvorne 16-bitne generirane vrednosti stolpca.

4 Izdelava in preizkus naprave

Za napravo smo načrtali dvoslojno tiskanino v programskem okolju Altium Designer. Tridimenzionalni izgled naprave v omenjenem programu je prikazan na sliki 7, fotografija izdelane vrtavke z vstavljenim statorjem s krogličnim ležajem za držanje na prstu pa na sliki 8.

Slika 7: 3D prikaz vrtavke v programu Altium Designer

Slika 8: Izdelana vrtavka

5 Sklep

Cilj projekta je bil izdelati prstno vrtavko za prikazovanje besedila ali druge grafike po principu vztrajnosti vida. Testiranje delovanja naprave je potrdilo uspešnost realizacije zastavljenega cilja. Grafika je prikazana jasno in na natančno definirani lokaciji. S tem upravičimo uporabo kotnega časovnika, ki procesor razbremeni sprotnega računanja kota zasuka vrtavke in mu daje več časa za osveževanje pik med rotacijo vrtavke. K temu pripomore tudi izbira svetlečih diod z visoko svetilnostjo pri majhnem toku.

Izbira komponent z nizko porabo in premišljeno načrtano vezje za znižanje porabe zagotavljata dolgo življenjsko dobo baterij.

Z uporabo pospeškometra (POSP - slika 1), ki je že del vrtavke, bi lahko dosegli, da bi bilo prikazano besedilo vedno pravilno obrnjeno, ne glede na to, kako držimo vrtavko.

Napravo lahko uporabljamo za pedagoške ali promocijske namene, kot igračo ali celo kot terapevtski pripomoček [13, 14].

Literatura

[1] G. J. Burak in D. P. Fiden, „Gaming Machine Having a Persistence-of-Vision Display“. Patent US 7,708,640 B2, 4 May 2010.

[2] D. Z. Ratnayake, C. K. Kulasekera, Y. V. Fernando, T. W. Meewella, J. P. Praveena in S. P. Yasakethu, „Persistence Vision Display,“ v *International Research Symposium on Engineering Advancements*, Malabe, Sri Lanka, 2015.

[3] Microchip Technology Inc., „Bluetooth Fidget Spinner,“ 21 February 2018. [Elektronski]. Dosegljivo na: http://www.microchip.com/promo/bluetooth-fidget-spinner.

[4] D. Hou, „Angular Timer Implementation, Microchip Technology Inc.,“ 2016. [Elektronski]. Dosegljivo na: http://ww1.microchip.com/downloads/en/AppNotes/90003143A.pdf.

[5] Texas Instruments, „DRV5033 Digital-Omnipolar-Switch Hall Effect Sensor,“ September 2016. [Elektronski]. Dosegljivo na: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv5033.pdf.

[6] Microchip, „14/20-Pin, 8-Bit Flash Microcontroller,“ 2014-2017. [Elektronski]. Dosegljivo na: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001770D.pdf.

[7] Texas Instruments, „16-Channel, Constant-Current LED Driver with 4-Channel Grouped Delay,“ October October. [Elektronski]. Dosegljivo na: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc59282.pdf.

[8] Microchip Technology Inc., „RN4870/71 Bluetooth Low Energy Module User's Guide,“ 2017. [Elektronski]. Dosegljivo na: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/50002466B.pdf.

[9] Texas Instruments, „TPS62745 Dual-cell Ultra Low IQ Step Down Converter for Low Power Wireless Applications,“ June 2015. [Elektronski]. Dosegljivo na: http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps62745.pdf.

[10] NXP Semiconductors, „Capacitive touch/proximity switch with auto-calibration, large voltage operating range, and very low power consumption,“ 14 September 2016. [Elektronski]. https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/PCF8883.pdf.

[11] „GATT Overview,“ Bluetooth SIG, Inc., 2018. [Elektronski]. Dosegljivo na: https://www.bluetooth.com/specifications/gatt/generic-attributes-overview.

[12] National Instruments, „LabVIEW Bluetooth Low Energy (BLE) Instrument Drivers for Windows & cRIO,“ 2017. [Elektronski]. Dosegljivo na: https://forums.ni.com/t5/NI-Labs-Toolkits/LabVIEW-Bluetooth-Low-Energy-BLE-Instrument-Drivers-for-Windows/ta-p/3538595.

[13] E. J. Cohen, R. Bravi in D. Minciacchi, „The effect of fidget spinners on fine motor control,“ *Scientific Reports*, Izv. 8:3144, February 2018.

[14] L. Mesquita, G. Brockington, P. A. de Almeida, M. E. Truyol, L. A. Testoni in P. F. F. Sousa, „Using a fidget spinner to teach physics,“ *Physics Education*, Izv. 53, št. 4, 2018.