

Csurgai József, Szilvássy László, Jámbor Krisztián

Légisugár-fejlesztésünk rögös útja

Egy előző cikk keretében [1] már szó volt egy, a TKP2021-NVA-16 pályázat keretében kialakítandó légi sugárfelderítő, drónra szerelhető szenzormodul fejlesztéséről. Itt, jelen cikkben valójában szeretnénk a teljesség igénye nélkül képet adni arról, hogy az elméleti kutatások után, a megvalósulás útjára lépett fejlesztés során hol tartunk, milyen feladatokat valósítottunk meg, és mi szükséges még az eredménytermék „asztalra tevéséhez”. Mivel az előző cikk már tartalmazza a kutatások elméleti hátterét, és jelen cikk annak a folytatása, ezért itt mellőzzük az amúgy fontos szakirodalmi áttekintést és a téma részletes felvezetését, vagyis „in medias res” közöljük fejlesztésünk gyakorlati stádiumának helyzetét.

Kulcsszavak: légi sugárfelderítés, radioszenzoros¹ modul, sugárhelyzet-felmérés

1. Bevezetés

Folytatva a fenti gondolatot talán próbáljuk meg olyan szemszögből megközelíteni az aktuális kutatást, hogy mi az, ami az előző cikkben [1] megjelent elméleti háttérhez, koncepcióhoz képest megváltozott, mert a mérőrendszer egyes komponenseinek javuló paraméterei kibővítették a lehetőségeket, vagy az időközben folytatott elméleti és gyakorlati munka pozitív változásokat hozott a fejlesztésbe, vagy éppen az időközben beszerzett hardver olyan paraméterekkel bír, amelyek az eredeti koncepciót megváltoztatták. Természetesen és szerencsére olyan módosításokról nincs szó, amelyek alapjaiban „rengetnék meg” az eddig elvégzett munkát, inkább csak valami olyasmiről, mint amikor egy jól megírt dolgozattervezethez az opponensek kisebb változtatást javasolnak a védsre bocsátás előtt.

A szerzők továbbra is fenntartják maguknak a jogot, hogy a cikk tárgyát képező, drónra szerelhető radiológiai modult helyenként radioszenzoros modulnak, radioszenzor-modulnak, radiomodulnak, esetleg radiológiai modulnak hívják, ugyanúgy, mint az előző cikkben. Ez ott sem tévesztette meg a kedves olvasót, és itt sem fogja. Most pedig lássuk először, hogy melyek is azok a változások, amelyeket az idő kényszerített ki!

¹ Radioszenzoros – radioaktív szenzoros modul.

2. Az alapkoncepcióban történt változások

Az [1] cikkben leírtakhoz képest néhány kisebb, a fejlesztés koncepcióját, menetét nem befolyásoló változtatással volt dolgunk. Alapvetően az eredeti elgondolás hardverkomponenseit érintik, illetve a szoftveres támogatás egy részét. A legfőbb változást valójában az hozta, hogy az [1] cikkben közölt elemzések szerint a GM-számláló, még ha az ott megnevezett kvadromodullal van is dolgunk, jelentős statisztikus hibával terhelt dózisteljesítményt nyújt, ahol a relatív hiba 30 m magasságban történő repüléskor $\pm 40\%$ -os lesz. A jóval stabilabb és pontosabb mérés érdekében szükségesnek bizonyult a szcintillációs detektor alkalmazása dózisteljesítmény-mérésre. Itt viszont meg kellett változtatni az alapkoncepciót, és a szcintillációs detektor méréseit nemcsak egy pont felett lebegve spektrum felvételére, hanem pásztázó dózisteljesítmény-mérésre is alkalmazni kell. Ez azt is jelenti, hogy minden egyes mérési ponthoz rendelt adatrekord struktúrájának tartalmaznia kell a szcintillációs detektor gammaspektrumát is, amely 1024 csatornán egész számok tömbjében tárolva önmagában is lefoglalja az Arduino Mega 8 kB adatmemóriájának felét, ami a mérőprogram fejlesztése során nagy nehézségeket, folyamatos kódoptimalást, adatmérégetést követelne meg, ami egyrészt megbonyolítaná az algoritmust, másrészt a Mega műveleti és adatkommunikációs sebessége esetleg problémát okozhatna a perifériák kezelése során. A legfontosabb körülmény itt a szcintillációs detektor folyamatos működtetésének biztosítása az alábbiak miatt.

A szcintillációs detektor, a mérőrendszerben alkalmazott $\emptyset 3 \times 3''$ ($\emptyset 76 \times 76$ mm) hengergeometriájú kristállyal több mint két nagyságrenddel nagyobb spektrumintenzitással rendelkezik, mint a négycsöves, kvadro-GM-számláló beütési intenzitása azonos környezetben, ami azt jelenti, hogy a szcintillációs spektrumból számolt dózisteljesítmény statisztikus hibája 30 m magasságban végzett repülés esetén a Magyarországon mért átlagos háttérben 4%-on belül van. A szcintillációs detektorral történő dózisteljesítmény-mérést a szoftveres módszerek között tárgyaljuk.

Itt nagyon fontos momentumot kell „tisztába tennünk”, a későbbi félreértések elkerülése végett. Úgy tűnhet, hogy a tervezett GM-számlálónak mintha már nem is lenne helye a projektben. Dehogyan nincs! Nagyon is fontos a megléte, mivel a szcintillációs detektor kristályában magas dózisteljesítményeknél a normál háttérsugárzásnál kb. 3 nagyságrenddel intenzívebb sugárzási térben maradvány-szcintillációs sugárzás keletkezik, amelynek lecsengése exponenciális, és hosszabb időt is igénybe vehet. Ebben az esetben a GM-számláló mint dózisteljesítmény-mérő alaplmszer játszik szerepet, ezenkívül nagy intenzitású sugárzási térben a GM-számláló statisztikus hibája drasztikusan csökken, ami alkalmassá teszi a stabil dózisteljesítmény-mérésre [1].

2.1. A rendszer hardverében történt módosítások

2.1.1. GPS-vevő

Az általános rendeltetésű szenzoroknál a fejlesztés során az V.KEL VK2828U7G5L GPS-vevőt használtuk, amely igen kedvező vevőérzékenységgel és ár/minőség mutatóval rendelkezik.

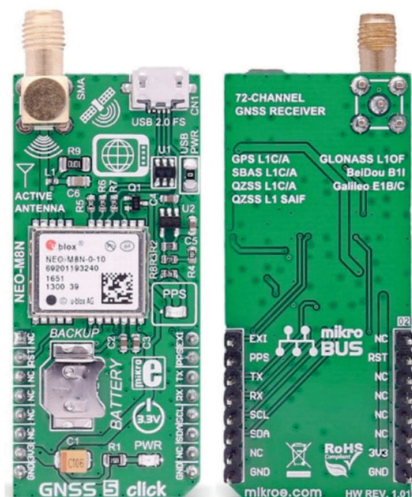


1. ábra

V.KEL TTL VK2828U7G5LF GPS-vevő-modul a kerámia antennával [a szerzők]

Az egyetlen tényező, amely hátránnyként róható fel neki, hogy csak az amerikai Navstar rendszert használja. A végleges modul beérkezéséig azonban kellemesen használhatónak bizonyult.

A végleges szenzornál az eredetileg tervezett NEO-M8N GPS-vevőt alkalmazzuk, amely támogatja aktív antenna használatát is, és a Navstar mellett a Galileo, a GLONASS és a BeiDou rendszert is képes használni (egyszerre hármat).



2. ábra

NEO-M8N GPS-vevő [a szerzők]

2.1.2. Mikrokontroller

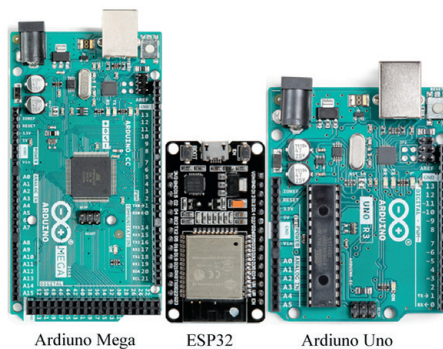
Nos, itt a változás jelentős minőségi előrelépést takar. Már az elméleti munka során nyilvánvaló volt, hogy a mikrokontroller felprogramozása, a perifériák illesztése és összehangolása többek között többhardveres soros port meglétét kívánná, bár szoftveres soros portok definiálásával is működtethetők a perifériák, azonban ezt a fejlesztők nem „szeretik”. Szükség volt alternatív megoldásra, ezért a mérőrendszer „agya” az ESP32 mikroprocesszor-családba tartozó kétmagos processzor lett. Az 1. táblázatban rögzítettük a legfontosabb paramétereket, amelyeket összehasonlítva az Arduino Uno és Mega alaplappal szembevető a különbség.

1. táblázat

Az Arduino-alaplapok és az ESP32 paramétereinek összehasonlítása, dőlt betűvel kiemelve a fejlesztés szempontjából legfontosabb különbségeket [a szerzők]

Jellemzők	ESP32	Arduino Uno	Arduino Mega
Digitális I/O adatport	36	14	54
DC I/O adatportonként	40 mA	20 mA	20 mA
Analog portok	18	6, 10-bit ADC	6, 10-bit ADC
Mikroprocesszor	<i>Xtensa Dual Core 32-bit LX6</i>	<i>ATmega328P</i>	<i>ATmega2560</i>
Flash Memória	4 MB	32 kB	256 kB
SRAM	520 kB	2 kB	8 kB
EEPROM	Nincs	1 kB	4 kB
Órajel	240 MHz	16 MHz	16 MHz
Feszültség	3,3 V	5 V	5 V
Wifi	<i>802,11 b/g/n</i>	<i>Nincs</i>	<i>Nincs</i>
Bluetooth	<i>v4.2 BR/EDR and BLE</i>	<i>Nincs</i>	<i>Nincs</i>
I2C-támogatás	Igen (2x)	Igen	Igen
SPI-támogatás	Igen (4x)	Igen	Igen
Hardver-sorosport	3	1	1
USB-csatlakozó	Micro-USB	USB-B	USB-B

A szenzormodul mikrokontrollerének cseréje azonban nem jelenti azt, hogy szakítottunk az Arduino-környezetben történő fejlesztéssel, sőt, éppen ellenkezőleg, a mikrokontroller felprogramozása, a perifériák illesztése az Arduino fejlesztőkörnyezetében, teljes körű kompatibilitással valósul meg, a különbség mindössze annyi, hogy az ESP32 520 kB adatmemóriája és 4 MB programmemóriája az Arduino Mega 8 kB adatmemóriájával és 256 kB programmemóriájával szemben gyakorlatilag korlátlan mértékben megnöveli a programozás lehetőségeit. Ezenkívül a 3 hardveres soros port megléte lényegesen stabilabbá teszi a többirányú adatkommunikációt.



3. ábra
A két Arduino és az ESP32 kétmagos alaplap [4]

2.2. Szoftveres fejlesztések

A szenzormodul szoftveres környezetének megteremtéséhez szükség volt a perifériák adatstruktúrájának lekérdezésére írt kommunikációs kódokon kívül egyéb eljárások kifejlesztésére is, ezek közül a legfontosabbak leírását az alábbiakban részletesen közöljük.

A mérőrendszer elemeinek adatkommunikációs kódjait az alábbiakban foglaljuk össze.

2.2.1. Periféria–kontroller-kommunikáció

A mikrokontroller a perifériák adatait szakaszosan kérdezi le. Mivel a lekérdezések során nem alkalmazunk hardveres megszakításokat, így az időzítés a szcintillációs detektor–kontroller-kapcsolaton keresztül valósul meg, mivel ez a kapcsolat folyamatos. A szcintillációs detektor a kontrollernek 0,5 s-ként küld spektrumot, azonban a kontroller ezekből a mérési pontokra meghatározott mérési ciklusonként csak 1 spektrumot rögzít és dolgoz fel, ami egyben a többi periféria lekérdezésének ideje is. A szcintillációs gammaspektrum kumulatív, vagyis állandó növekményes, amelyből az egyes ciklusonként az előző ciklusból differenciális spektrumot képez, és ez lesz az adott ciklusra érvényes spektrum. A ciklusonként rögzített adatstruktúrák adatrekordokként a kontrollerhez illesztett nagy kapacitású memóriamodulban lesznek eltárolva, ezenkívül, online rádiókapcsolat megléte esetén, tömörített struktúrában, lesugározva a földi vevőállomásra, ahol lehetőség lesz térinformatikai környezetben való megjelenítésre.

2.2.2. Kontroller–háttértároló nagy kapacitású memóriakapcsolat

A mérési ciklusonként a háttértárolóra írt adatrekordok nyers, primer adattömeget (adatbázist) képeznek, és változatlan formában tárolódnak, feldolgozásuk itt nem történik meg, vagyis a kapcsolat a működés során kizárólag egyirányú művelet, természetesen a kiírást CRC-vel ellenőrizve.

2.2.3. Háttértároló (kontrolleren keresztül) – PC-kapcsolat

Az adatfeldolgozás jelen projekt keretében offline történik, amelynek során a primer adatbázis PC-környezetben térinformatikai vagy a mérőrendszer megjelenítő szoftverében lesz majd feldolgozva.

Az alábbiakban részletesen kifejtyük két nagyon fontos eljárását a mérőprogramnak, a legfontosabb hardverperifériának, a szcintillációs detektornak két alapvető számítási, illetve kompenzációs kódját, a gammaspektrumból történő dózisteljesítmény-mérésnek, illetve a szcintillációs detektor energiakalibrációjának a hőmérsékletfüggését kompenzáló algoritmust.

2.2.4. Kontroller–bázisállomás rádiós kapcsolat

Az adatok valós idejű feldolgozása/megjelenítése ezen a kapcsolaton keresztül zajlik, több frekvencián. A használt frekvenciasávokra vonatkozó szabályozások miatt nem a nyers adat-tömeg, hanem tömörített struktúra lesz lesugározva. A rádiós kapcsolat megléte nemcsak az adatok közvetlen és azonnali megjelenítéséhez fontos, hanem egyfajta redundanciát is ad a rendszernek a hordozó gép vagy a memória sérülése esetére. Emellett a bázisállomás már alkalmas lehet komolyabb előfeldolgozások elvégzésére is.

2.3. Szcintillációs detektorral történő dózisteljesítmény-mérés

A szcintillációs detektorral felvett spektrumból a dózisteljesítmény képzése a teljes spektrum feldolgozása során történik. A referenciadokumentum a JAERI-M-91-204 Japan Atomic Energy Research Institute (2005 óta Japan Atomic Energy Agency) [2] által kiadott technikai dokumentáció, amely a leggyakoribb méretű (1"–5", henger- és gömbgeometriájú) NaI(Tl) szcintillációs kristályokra vonatkozó spektrum-dózis konverziós együtthatókat tartalmazza. Az alkalmazott összefüggés az alábbi:

$$D = \int_{E_{\min}}^{E_{\max}} P(E) \cdot G(E) dE = \sum_{I_{\min}}^{I_{\max}} P(I) \cdot G(I) \quad (1)$$

ahol:

- D – dózisteljesítmény (nGy/h);
- P(E) – impulzuseloszlás (cpm/keV);
- P(I) – többcsatornás impulzusanalizátorral mért magasságeloszlás (cpm/csatorna);
- E – gammaenergia (keV);
- I – a csatornák száma;
- E_{\min} – a gammaenergia mérésének alsó határa (keV);
- E_{\max} – a dózisteljesítmény értékelésének felső gammaenergia-határa (keV);
- I_{\min} – az E_{\min} -nek megfelelő csatornaszám;
- I_{\max} – az E_{\max} -nak megfelelő csatornaszám: spektrum-dózis konverziós operátor (nGy/h/cpm);
- G(E), G(I) – spektrum-dózis konverziós operátor (nGy/h/cpm).

2.3.1. A szcintillációs detektor hőmérsékletfüggés-kompenzáló algoritmus

A szcintillációs detektor hőmérsékletfüggése a gammaspektrum megváltozásához vezet, mivel a kristály fényhozama és a fotoelektron-sokszorozó hatásfoka függ ezen részegységek hőmérsékletétől. Ez az energiakalibráció „elcsúszásához” vezet, ami nemkívánatos esemény a mérés során. Eme jelenség kompenzálására egyszerű matematikai modell lett kidolgozva [3]. A modell rövid leírása az alábbiak szerint valósul meg.

Először is, az energiakalibrációs függvényt egyszerű, másodfokú polinommal közelítjük:

$$E = ax_i^2 + bx_i + c \quad (2)$$

A detektor állandó T_0 referencia-hőmérséklete (például $T_0 = 243$ K) mellett az analizátor (MCA) i -dik csatornájának x_{i0} pozíciója állandó marad. Így az energiakalibrálás is változatlan marad. A hőmérséklet változása azonban csatornaváltáshoz vezet, ami „elrontja” az energiakalibrálást, és a radionuklidok téves azonosításához vezethet. Így a T_k hőmérsékleten mért gammaspektrumban az i -dik csatorna x_{ik} pozíciója a T_0 hőmérsékleten mért x_{i0} referencia-pozícióhoz képest eltolódik.

Ha fix feszültség és erősítés esetén feltételezzük, hogy a csatornák pozíciói csak a hőmérséklettől függenek, akkor egyszerű összefüggést állíthatunk fel x_{ik} és x_{i0} között:

$$x_{ik} = x_{i0} f_i(T_k) \quad (3)$$

ahol $f_i(T_k)$ az a függvény, amely csak a hőmérséklettől függ. A kísérleti adatok alapján feltételezzük, hogy a hőmérséklet-változás miatti relatív csatornaeltolódás a spektrumnak megfelelő összes n csatorna esetében megközelítőleg azonos. Így az $f_i(T_k)$ függvények a következők lesznek:

$$f_1(T_k) \approx f_2(T_k) \approx \dots \approx f_n(T_k) = f(T_k) \quad (4)$$

Emellett feltételezzük, hogy a például 243 K hőmérsékleten felvett spektrumot tekintjük referenciának, és megvizsgáljuk a spektrumban megjelenő nuklidok teljes energiacsúcs-centroidjainak vándorlását.

A spektrum stabilizálása érdekében a $x_{ik}^{\text{referencia}}$ pozíciót, amely a T_0 hőmérsékletnél a $x_{ik}^{\text{referencia}} = x_{i0}$ referenciapozíció, az új x_{ik} pozícióba helyezzük.

Az (1) egyenletben a (2) egyenlet feltételezését felhasználva a korrigált csatornapozíció a következő egyenlettel írható fel:

$$x_{ik} = x_{ik}^{\text{referencia}} f(T_k) \quad (5)$$

A korrigált spektrummal a T_0 referencia-hőmérsékleten kapott energiakalibráció továbbra is érvényes. A javasolt módszer célja tehát az $f(T_k)$ olyan közelítésének megtalálása, amely korrigálja a mért spektrum energiakalibrálását.

Ez a módszer a mért spektrum energiakalibrációs együtthatóit korábbi laboratóriumi méréseken alapuló algoritmus segítségével számítja ki. Így a mérések során nincs szükség radioaktív vagy impulzusreferenciára. Az adatokat azonban laboratóriumban, ellenőrzött hőmérsékleti körülmények között kell gyűjteni, ami nem mindig lehetséges. Ez a módszer a referenciapozícióval normalizált negyedrendű polinomiális közelítést feltételez a $f_i(T_k)$ függvényekre. Így a (3) egyenlet az alábbi formát ölti:

$$f(T_k) = \frac{x_{ik}}{x_{i0}} = \sum_{j=0}^4 a_j T_k^j = a_4 T_k^4 + a_3 T_k^3 + a_2 T_k^2 + a_1 T_k + a_0 \quad (6)$$

Ha feltételezzük az energiacsatornáknak a hőmérséklet-változás hatására történő, egymáshoz képest arányos változását az (2) összefüggés szerint, akkor ezzel az egyszerű módszerrel máris dolgozhatunk. Ellenkező esetben, ha a változás nem proporcionális, a (6) összefüggést átírjuk mátrixformára:

$$f(T_k) = \begin{pmatrix} 1 & T_k & T_k^2 & T_k^3 & \dots & T_k^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \quad (7)$$

Miután a kísérleteket a T_1 és T_m közötti különböző hőmérsékleteken elvégeztük, a (7) egyenletet n -edik rendű polinomillesztéssel a (8) egyenletté bővítjük:

$$\begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \dots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \dots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \dots & T_m^n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \dots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \dots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \dots & T_m^n \end{pmatrix} \quad (9)$$

A hőmérséklet és a csúcs centroid pozíciójának kísérleti adatai után az n -edik rendű polinom korrekciós együtthatói mátrixműveletekkel gyorsan megkaphatók. Biztosítani kell, hogy a (9) egyenletben látható \mathbf{T} hőmérsékleti együttható mátrix négyzetmátrix legyen. Ezért, ha az n -edik rendű polinom n értékét $m-1$ -re választjuk, a \mathbf{T} hőmérsékletmátrix m -ed rendű négyzetmátrix lesz. Ha a \mathbf{T} hőmérsékleti együttható mátrix reverzibilis, nem szinguláris mátrix, akkor az \mathbf{A} vektorban látható n -edik rendű polinom a_0, a_1, \dots, a_n korrekciós együtthatóit az alábbi (10) egyenlet határozza meg.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \dots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \dots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \dots & T_m^n \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} \quad (10)$$

Ha a \mathbf{T} hőmérsékleti együttható mátrix irreverzibilis szinguláris mátrix, akkor a Moore–Penrose általánosított \mathbf{T}^{-1} inverz mátrixa, amely a (12) és a (13) egyenletben látható, használható helyette. Az \mathbf{M} csak köztes folyamatmátrix.

$$\mathbf{M} = \left[\begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \dots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \dots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \dots & T_m^n \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \dots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \dots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \dots & T_m^n \end{pmatrix} \right]^{-1} \quad (11)$$

$$\mathbf{T}^{-1} = \mathbf{M} \times \begin{pmatrix} 1 & T_1 & T_1^2 & \dots & T_1^n \\ 1 & T_2 & T_2^2 & \dots & T_2^n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & T_m & T_m^2 & \dots & T_m^n \end{pmatrix}^T \quad (12)$$

Az n-edik rendű polinom **A** korrekciós együttható vektorainak egységes kifejezését a (13) egyenlet írja le.

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \mathbf{T}^{-1} \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_m \end{pmatrix} \quad (13)$$

Az aktuális módszer a szcintillációs detektor analizátorának EPROM-jába lesz beégetve, a tesztek során az egyszerűsített, proporcionális módszer szerint, azonban a szenzormodulban az általános módszert fogjuk alkalmazni.

3. Összefoglalás

Jelen cikk áttekintette a drónra szerelhető radioszenzoros modul fejlesztésének aktuális állapotát, kiemelt figyelmet fordítva a gyakorlati munka során már megoldott problémákra, illetve a fejlesztők előtti feladatokra.

Összességében az igazi munkát, vagyis a legizgalmasabb részt, azaz a „vassal” történő fejlesztést csak most kezdtük. A már előre kidolgozott szoftveres kódok egy részét újra kell írunk, ezen kívül a „vas”, a mérőrendszer működési koncepciójában is már van némi változás, de azt hiszem, ez az igazi szépsége a tudományos kutatási-fejlesztési tevékenységnek. Ennél talán szebb már csak az lehetne, ha olyan problémával találkozoznánk, amelyről az adott pillanatban fogalmunk sem lenne, hogyan oldjuk meg, pedig a határidő szorít, azonban ez most itt nekünk, a fejlesztőknek szerencsére nem adatott meg.

Felhasznált irodalom

- [1] Csurgai J., „Drónra szerelhető radiológiai modul fejlesztési koncepció, hardveres felépítés és nukleáris mérés technikai alapok,” Repüléstudományi Közlemények, 34. évf. 3. sz. pp. 181–202. 2023. Online: <https://doi.org/10.32560/rk.2022.3.12>

- [2] M. Tsumi, K. Saito, S. Moriuchi, „Spectrum-dose Conversion Operators, G(E) Functions of NaI(Tl) Scintillators Adapted for Effective Dose Equivalent Quantities (JAERI-M-91-204)”. Online: <https://jopss.jaea.go.jp/pdfdata/JAERI-M-91-204.pdf>
- [3] Csurgai J., Padányi J., Földi L., „Temperature Dependence of NaI(Tl) Radiation Scintillation Detectors' Characteristics,” *Advances in Military Technology*, 15. évf. 1. sz. pp. 201–212. 2020. Online: <https://doi.org/10.3849/aimt.01328>
- [4] Linuxhint: Is ESP32 Better than Arduino. Online: <https://linuxhint.com/esp32-vs-arduino/>

The Bumpy Road of our Drone-Mountable Radiology Module Development

In a previous article, we talked about the development of a drone-mounted sensor module for airborne radiological detection under the TKP tender. In this article, we would like to give a non-exhaustive picture of where we are in the development process after the theoretical research, what we have accomplished and what is still needed to bring the resultant product to the table. Since the previous article already contains the theoretical background to the research and this article is a continuation of it, we will omit the otherwise important literature review and detailed introduction to the topic, i.e. we will present the situation of the practical stage of our development “in medias res”.

Keywords: *airborne radiological reconnaissance, radio sensor module, radiological survey*

Dr. Csurgai József
egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Műveleti és Támogató Tanszék
csurgai.jozsef@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-4770-7997

József Csurgai, PhD
Associate Professor
Ludovika University of Public Service
Faculty of Military Sciences and Officer Training
Department of Operations and Support
csurgai.jozsef@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0003-4770-7997

Dr. Szilvássy László
egyetemi docens
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-0455-4559

László Szilvássy, PhD
Associate Professor
Ludovika University of Public Service
Faculty of Military Sciences and Officer Training
Department of Aircraft Onboard Systems
szilvassy.laszlo@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-0455-4559

Jámbor Krisztián	Krisztián Jámbor
szakoktató	Instructor
Nemzeti Közszoigálati Egyetem	Ludovika University of Public Service
Hadtudományi és Honvédtisztképző Kar	Faculty of Military Sciences and Officer Training
Repülőfedélzeti Rendszerek Tanszék	Department of Aircraft Onboard Systems
jambor.krisztian@uni-nke.hu	jambor.krisztian@uni-nke.hu
orcid.org/0000-0002-6406-0841	orcid.org/0000-0002-6406-0841

„A TKP2021-NVA-16 számú projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NVA pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

