

AUTOMATIKUS RAKTÁRFELDOLGOZÁS AUTONÓM DRÓNOKKAL

AUTOMATED WAREHOUSE PROCESSING WITH AUTONOMOUS DRONES

Gubán Miklós¹, Udvaros József²

¹professor emeritus, guban.miklos@uni-bge.hu

²PhD, udvaros.jozsef@uni-bge.hu

Budapesti Gazdasági Egyetem Pénzügyi és Számviteli Kar Gazdaságinformatika Tanszék, Budapest

ÖSSZEFOGLALÁS

Ebben a cikkben egy matematikai modell vázlatát és egy megoldást mutatunk be egy több-felhasználós, vegyes raktár leltározási feladatainak elvégzésére. Az útvonaltervezés és drónok raktárakban történő alkalmazásának szakirodalmi áttekintése után egy olyan módszert adunk meg, amelyet minden irányban mozgatható, képalkotásra és átvitelre alkalmas drónok irányítására használunk. A javasolt módszer négy fő lépésből áll. Első lépésben a raktárak rekeszeinek feldolgozásához szükséges (végrehajtási idő szerinti optimális) bejárési útvonalak meghatározásához szükséges matematikai modellt és megoldási módszert adjuk meg. A második lépésben az útvonalak alapján vezéreljük a drónok valós idejű mozgását a feldolgozás során, beleértve a kamera mozgását és a képrögzítést is. A harmadik lépés az utófeldolgozás, vagyis a képek QR-kódos azonosítás céljából történő feldolgozása, a QR-kód értelmezése, valamint az üres rekeszek felismerése a készletellenőrzés érdekében. A negyedik lépésben a kapott adatokat átküldjük a központi alkalmazásba. A javasolt modell és megoldási módszer nemcsak készletellenőrzésre, hanem más, a modellhez illeszkedő probléma megoldására is alkalmas.

ABSTRACT

In this paper, a mathematical model and solution will be presented for performing the inventory tasks of a multi-user, mixed warehouse. After reviewing the literature on route planning and the use of drones in warehouses, we present a method that has been used to control drones movable in all directions and suitable for imaging and transmission. The proposed method consists of four main steps. In the first step, we provide the mathematical model and solution method required to determine the (optimal execution time) access routes required for processing the compartments of the warehouses. In the second step, based on the routes obtained in the first step, we control the real-time movement of the drones during the processing, which includes the movement of the camera and image recording. The third step is post-processing, i.e. the processing of QR code identification images, the interpretation of the QR code, and the recognition of empty compartments for inventory control. In the fourth step, the received data is transferred to the central system. The proposed model and solution method are suitable not only for inventory control, but also for solving other problems matching the model.

Kulcsszavak: drón, genetikus algoritmus, leltározás, matematikai modell, útvonaltervezés

Keywords: drone, genetic algorithm, inventory, mathematical model, route planning

BEVEZETÉS

Egy vállalat termékeinek és készleteinek nyomon követése ma már a vállalat működőképességének egyik alapvető tényezője. E tekintetben a készletgazdálkodás kiemelkedő jelentőségű, hiszen minden egyes készleten lévő áru a vállalkozás értékének részét képezi, és a vezetők számára fontos, hogy ismerjék az általuk vezetett szervezetben előforduló áruk értékét. Így stratégiai szempontból fontos a készletgazdálkodás helyes gyakorlatának bevezetése. A készletgazdálkodás egyes feladatai nagyon komoly emberi erőforrást igényelnek, ezért nem hanyagolható el a szakemberek képzése, külön fókuszálva a számítógépes gondolkodás fejlesztésére (Fülöp et al., 2022).

Ma a munka természete alapjaiban alakul át. A technológiai fejlődés révén számos területen, köztük a vállalati környezetben is megjelenik az ember-robot együttműködés. E kihívások sikeres kezelésének egyik feltétele a robotok elfogadása, amit egyebek mellett az egyének attitűdjei is jelentősen befolyásolnak (Kiss et al., 2022).

A drónok áttörést hoznak a raktári készletgazdálkodás technológiájában, mivel lehetővé teszik a valós idejű, gyors és pontos készletnyilvántartást, miközben minimalizálják az ellátási lánc érdekelt feleinek működési költségeit. Emellett biztonsági szempontból is hasznos a használatuk, hiszen alkalmazásuk csökkenti az emberi sérülés kockázatát. Környezetvédelmi szempontból környezetbarát eszközök, újratölthető akkumulátorokat használnak a napi műveleti ütemterv végrehajtásához. Gazdasági szempontból pedig lehetővé teszik a szinte folyamatos leltárellenőrzést, és az operatív döntéshozatal optimalizálása révén minimálisra csökkentik a munkaerőköltségeket és a leltározással kapcsolatos működési leállásokat (Karamitsos et al., 2021).

Ebben a cikkben egy új matematikai modellt és eljárást mutatunk be. A modell és a módszer egy GPS-szel el nem érhető magasraktár több drónnal történő leltározását mutatja be QR-kód felhasználásával.

SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A leltározási munka fontos láncszem az ipari vállalkozások nyilvántartási rendszerében. A kézi leltározás jelenlegi hibáinak (például az alacsony hatékonyság és a hibalehetőség) javítása érdekében az elmúlt években nagy pontosságú, hordozható rádiófrekvenciás azonosító olvasókkal felszerelt drónokat kezdtek alkalmaz-

ni. A drónok alkalmazása során fontos kérdésként jelenik meg, hogy az eszközök milyen útvonalat járjanak be a feldolgozás során. Napjainkban sok cikk foglalkozik a drónok útvonaltervezésével, ami szorosan összefügg a leltározási probléma megoldásával.

A Nan Pan és szerzőtársai (2021) által megadott modellben egy hibrid differenciális evolúciós (DE) algoritmust javasoltak, amely az életciklusú rajoptimalizálási (LSO) algoritmuson alapul. Az energiafogyasztás csökkentése és a készlethatékonyság javítása érdekében a legalacsonyabb energiahatékonysági és az időhatékonysági arányt vették alapul a célfüggvény megalkotásához, és létrehozták az UAV (*unmanned aerial vehicle*, pilóta nélküli repülőgép) útvonaltervezésének megfelelő matematikai modelljét. A fizikai modellezéshez egy dohányipari vállalat nyersanyag- és segédanyagraktárának tényleges környezeti adatait használták, és a szimulációs kísérletet a javasolt intelligens optimalizációs algoritmus használatával végezték el. Ugyanabban a környezetben, összehasonlítva a másik három élvonalbeli pályatervező algoritmussal, a kísérleti eredmények azt mutatták, hogy a javasolt algoritmus által tervezett útvonal javíthatja az UAV-raktározás hatékonyságát.

Több cikk kétdimenziós környezeten alapuló útvonaltervezéssel foglalkozik, ami számunkra nem megfelelő a gyakorlati alkalmazásban, hiszen a mi rendszerünk térbeli útvonaltervezést igényel. A leltározáshoz alkalmas útvonaltervezés során leggyakrabban a következő algoritmusokat alkalmazzák a kutatók: a hagyományos kalmáralgoritmust (Chen–Dong, 2008), a genetikus algoritmust (Udvaros et al., 2019; Chen et al., 2022), a gyorsan táguló véletlen fa algoritmust (Wang–Yang, 2021), a hagyományos részecske-raj-optimalizációs algoritmust (PSO), a hangyaalgoritmust (Huang et al., 2022) és a neurális hálózatokat (Albatrah et al., 2022). A kutatások többsége csak a legrövidebb repülési útvonalat vagy a legkisebb energiafogyasztást veszi figyelembe az egycélú optimalizálási modell létrehozásakor, és utána a konvex közelítési stratégiát alkalmazzák az útvonal meghatározására. Ezek a megoldások gyakorlati szempontból jól hasznosíthatók, a kutatásunk is támaszkodik ezekre az eredményekre, azonban a célfüggvényünk egy max–min időfüggvény lesz, amely a megadott módszerek közvetlen alkalmazását nem teszi lehetővé.

Yuhang Han és szerzőtársai (2022) cikke szerint a drónok útvonaltervezésének és a hatékony leltározásnak a kulcsa az, hogy a drón egy nagy pontosságú hordozható rádiófrekvenciás azonosító (RFID) olvasóval legyen felszerelve a leltározási feladat elvégzéséhez. A cikkben egy olyan módszert javasolnak az útvonaltervezésre, amely egy RFID-olvasóval ellátott drónt használ a raktárban tárolt termékek leltározására. Azonban, mivel a részecske-raj-optimalizációs algoritmus (PSO) az útvonaltervezési probléma megoldása során hajlamos lokális optimumba kerülni, a PSO-t továbbfejlesztették, és egy differenciális evolúción alapuló javítási módszert javasoltak.

A leltározási feladat megoldásához meg kell vizsgálni, hogy milyen drónok alkalmasak a feladat elvégzésére. Azt már a korábbi vizsgálatunk (Gubán et al., 2022a) megmutatta, hogy a feladatra autonóm drónokra van szükség. Ahhoz, hogy egy drón teljesen autonóm legyen, alapvető fontosságú a lokalizációs képesség. A megfelelő pontosságot különböző helyű információforrások felhasználásával érik el. Eduárd Mráz és munkatársai (2020) kutatásuk során két információforrást használtak:

- az Intel RealSense T265 követő kamerát a folyamatos vizuális odometria kiszámításához és
- az RGB-színérzékelőt az ArUco¹-referenciajelzőkkel kombinálva a vizuális odometria során felhalmozódott hiba minimalizálására.

Ezeknek a markereknek azonban megvannak a maguk hibái. Az ArUco-markerek hibáinak minimalizálására varianciaszűrőt alkalmaznak. Az egész rendszert többször tesztelték egy olyan drón segítségével, amely képes volt autonóm módon repülni beltéri környezetben. A lokalizációhoz szükséges összes folyamat zökkenőmentesen futott a drónhoz kapcsolt Nvidia Jetson Nano számítógépen. Mindezen eredmények alapján látszik, hogy az autonóm drónok alkalmasak beltéri környezetben raktárnyilvántartási feladatok emberi beavatkozás nélküli elvégzésére.

A Lukas Wawrla és szerzőtársai által közölt (2019) irodalom szerint a pilóta nélküli légi járműrendszer bevezetésének célja egy raktárban a műveleti idők csökkentése és az emberi munkaerő kiküszöbölése az ismétlődő, egyszerű feladatokban. Az egyik ilyen terület a leltározási folyamat, amely folyamat során számos információhordozó eszközzel (vonalkódok, QR-kódok vagy RFID-címkék) találkozhatunk. Ez a folyamat különösen munkaigényes a magasraktárakban, ahol több tízezer terméket tárolnak. A legtöbb raktár időszakosan (havonta, negyedévente stb.) végez leltározást. Azonban az ilyen leltározás minden alkalommal komoly kihívást jelent, hiszen a raktár működését a készletellenőrzés idejére fel kell függeszteni, és a teljes raktári személyzetet be kell vonni a leltározási folyamatba, ami kiesést jelent a vállalat részére. Emiatt egyre nagyobb szükség van e folyamat automatizálására egyrészt, hogy lerövidüljön a végrehajtási idő, másrészt, hogy csökkentsék a manuális végrehajtásból eredő hibák számát.

Az automatizált készletgazdálkodás során a drónra szerelt kamera segítségével történik a magasraktárban elhelyezett termékek azonosítása. A drón végigfut a kijelölt útvonalon, és a termékhez rendelt vonalkód vagy QR-kód beolvasásával vizsgálja a raktár készletét (Gubán et al., 2022b). Az épített raktárakkal szemben, ahol jól meghatározott polcokat tartalmazó rekeszekben helyezik el a rakományokat, a szabadtéren tárolt termékek sok esetben nem szabályosan helyezkednek el.

¹ ArUco – Augmented Reality University of Cordoba – egy négyzet alakú jelölő, amely egy széles fekete szegéllyel körülvett belső bináris mátrixból áll.

Ebből következik, hogy a raktáruvarban a hatékony készletgazdálkodáshoz a termékhez csatolt QR-kódok helyzetét is meg kell becsülni. Ilyen esetben a QR-kódok szegmentálási modelljén alapuló pozícióbecslési módszert célszerű alkalmazni. A szegmentálási modellt a kamera és a QR-kód közötti szögműködés miatt perspektivikusan torzult QR-kód régióinak a felismerésére használják. Az azonosítást követően az észlelt QR-kód régió alakjavítását és dekódolását végzik el. Ezek alapján megállapítható, hogy valós QR-kódról van-e szó, és emellett becslés is végezhető a drón helyzetére. Végül a drónok által két különböző nézőpontból készített képből kiszámítják a termékhez rögzített QR-kód 3D-s koordinátáit. Ezzel az eljárással egy hatékony leltárkezelés valósul meg a raktáruvaron. A mi esetünkben egy előre megadott összetett raktárfelépítéssel dolgozunk. A raktár felépítése tervrajz alapján vagy egy előzetes felépítés felismerő algoritmus segítségével megadható.

Gubán Miklós és szerzőtársai (2022a) egy olyan modellt mutatnak be, amely egy minden irányban mozgatható, képalkotásra és továbbításra alkalmas drónt használ. A javasolt modell három lépést tartalmaz. Az első lépésben egy áthaladási útvonal meghatározására nyújt optimális megoldást. Ez összhangban van a raktár szerkezetével és képességeivel. A második lépésben meghatározza a drón valós idejű mozgását a feldolgozás során, beleértve a kameramozgásokat és a képfelvételt. A harmadik lépés az utófeldolgozás, azaz a képek feldolgozása a QR-kód azonosításához és értelmezéséhez, valamint az egyezések és eltérések vizsgálata a készletellenőrzéshez. A gyakorlati szakemberek számára kulcsfontosságú előny, hogy az eredményt külső tájékoztató eszközök nélkül, kizárólag a drón saját mozgására és az előre megtervezett útvonalra támaszkodva éri el. A cikk egy drón használatával mutatja be a rögzített beosztású polcrendszerek bejárásának modelljét és megoldási módszerét.

A szakirodalmi áttekintés alapján megállapítottuk, hogy a készletnyilvántartásnál nem talákoztunk olyan megközelítéssel, mint a miáltalunk megadott, ezért elmondhatjuk, hogy a cikkben bemutatott leltározás drónokkal modell és megoldási módszer újszerű fejlesztésnek tekinthető.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A logisztikai központok nagy, többfelhasználós raktáraiban gyakran nehéz meghatározni a tárolt áruk pontos helyét. Ez leggyakrabban akkor fordul elő, ha a raktározás nem automata targoncával történik, vagy amikor a kommissiózás során – tévedésből adódóan – a kijelölt hely helyett máshonnan történik az áru kivétele. Tovább rontja a helyzetet, hogy ezekben a raktárakban nagyon nehéz vagy bizonyos esetekben lehetetlen GPS-alapú azonosítást használni. Ha nem állnak rendelkezésre repülési idő (ToF) kamerák, az automata készülékek pozicionálása nem lehetséges. Ebben a cikkben egy olyan modellt vázlatát mutatjuk be, amely

általában különböző raktárfelépítésekre alkalmazható, és képes drónnal aktualizálni a készletnyilvántartást.

A raktárépületben történik a be-, kirakodás és kommissiózás, az egységgrakománnyal kialakítása, címkézése. A raktárban dupla polcrendszer alkalmaznak. A dupla polcok között van egy széles folyosó, ahol a drón közlekedhet. Egy polc rekeszekre van osztva. Az egyes rekeszek magassága különböző lehet. A rekeszekben tárolt árukat QR-kóddal azonosítják, amely tartalmazza a kezelésük szempontjából összes fontos adatot.

Egy középkategóriás drón és kamerája a folyosó közepéről tud jó minőségű képet készíteni. A folyosó végén a dokkoló manuálisan kerül elhelyezésre, ahol az akkumulátor tölthető és cserélhető. Pozícióját azonban minden egyes drón esetén pontosan meg kell adni.

A raktárban egyszerre több drónnal is végezhetjük a feldolgozást. Ebben az esetben minden drón egymástól függetlenül fog dolgozni. Azonban az egyes folyosók feldolgozását csak egy drón végezheti, azaz nem fordulhat elő, hogy ugyanazon feldolgozási ciklusban egy folyosó két különböző rekeszét két különböző drón dolgozza fel. Emellett az ütközések elkerülése végett a drónok folyosók közti közlekedése is különböző magasságokban történik. A megoldás szempontjából elegendő egy drónra leírni a működés menetét, a többi drónra is ugyanezek teljesülnek. A raktár és a polcrendszer felépítése a modell számára ismert adatként jelenik meg. Ezek meghatározása a raktár tervezési dokumentumaiból egyértelműen megállapítható, kiegészítve egy drónnal történő raktárbejárással, ahol az adatok pontosíthatók.

A dokkolók elhelyezkedése nem befolyásolja a modellt, hiszen a modellhez csak a dokkoló helyének ismerete szükséges, ez pedig bárhol lehet a raktár szabad területén.

A kutatás során az alábbi kutatási kérdések merültek fel:

1. Hogyan automatizálható a raktári készletezés drónokkal?
2. Modellezhető-e matematikailag a drónokkal történő leltározás folyamata?
3. Ha modellezhető, akkor megadható-e a modellhez kapcsolódó feladathoz egy megoldási módszer, amely az alábbi négy részkérdésre válaszol:
 - 3.1. Hogyan optimalizálható (minimalizálható) a készletezés ideje a drónokkal?
 - 3.2. Az egyes drónok mely folyosókon kezdjék a vizsgálatot,
 - 3.3. milyen útvonalat járjanak be, azaz a rekeszeket milyen sorrendben keressék fel a feldolgozás során, és
 - 3.4. – ha szükséges – mikor keressék fel a töltőt?Mіндеzeket úgy végezzék el, hogy a drónok ütközés nélkül hajtsák végre a feladataikat.

A TERVEZETT MEGOLDÁS VÁZLATA

A feldolgozás négy fő feldolgozási lépésből áll.

1. lépés: (előfeldolgozás) a drónok optimális útvonalának meghatározása a legrövidebb feldolgozási idő szerint. Itt a leltározás teljes idejét kell meghatározni, nem az egyes drónok legrövidebb feldolgozási idejét. Ezt a központi alkalmazás készíti el, és küldi az előfeldolgozó alkalmazásnak. Amíg a raktár felépítése és a drónok száma, valamint a dokkolók helyzete nem változik, addig ezt az útvonaltervet nem kell módosítani, így ennek a modulnak a futtatására viszonylag ritkán van szükség.
2. lépés: (futási idejű feldolgozás az előfeldolgozó alkalmazásban) a megadott optimális útvonalak alapján a drónok vezérlése a rekeszekhez, a fényképek elkészítése.
3. lépés: (utófeldolgozás) a fényképfeldolgozás elvégzése a drón továbblépéséhez.
4. lépés: a feldolgozott fényképek adatainak továbbküldése a központi alkalmazáshoz.

Ebben a cikkben az első lépéshez egy olyan matematikai modell és algoritmus vázlatos ismertetésére törekszünk, amely megválaszolja a kutatási kérdéseket, így egy használható módszert javaslunk az automatizált raktári készletek feldolgozásához. Emellett a második lépés algoritmusát is megadjuk.

Az 1. lépéshez kapcsolódó modell vázlata

A modellalkotás első lépése a jelölések és tartalmuk tisztázása, ezért teljes paraméter-feltárára került sor. Az adatsor meghatározása gyakorlati szakemberek segítségével történt. Az összegyűjtött alapadatokat a modellben betöltött szerepük szerint csoportosítottuk. A paraméterek részletes leírása Gubán Miklós és szerzőtársai (2022a) cikkében található. Második lépésben elkészítettük a raktár és a használni kívánt drónok gyári paramétereinek matematikai modelljét, kiegészítve a változó adatokkal. Létrehoztunk egy kezelhető egyszerűsített mozgási és sebességmodellt (Gubán et al., 2022a). A következő lépés egy gyakorlati pozicionálási stratégia kidolgozása volt.

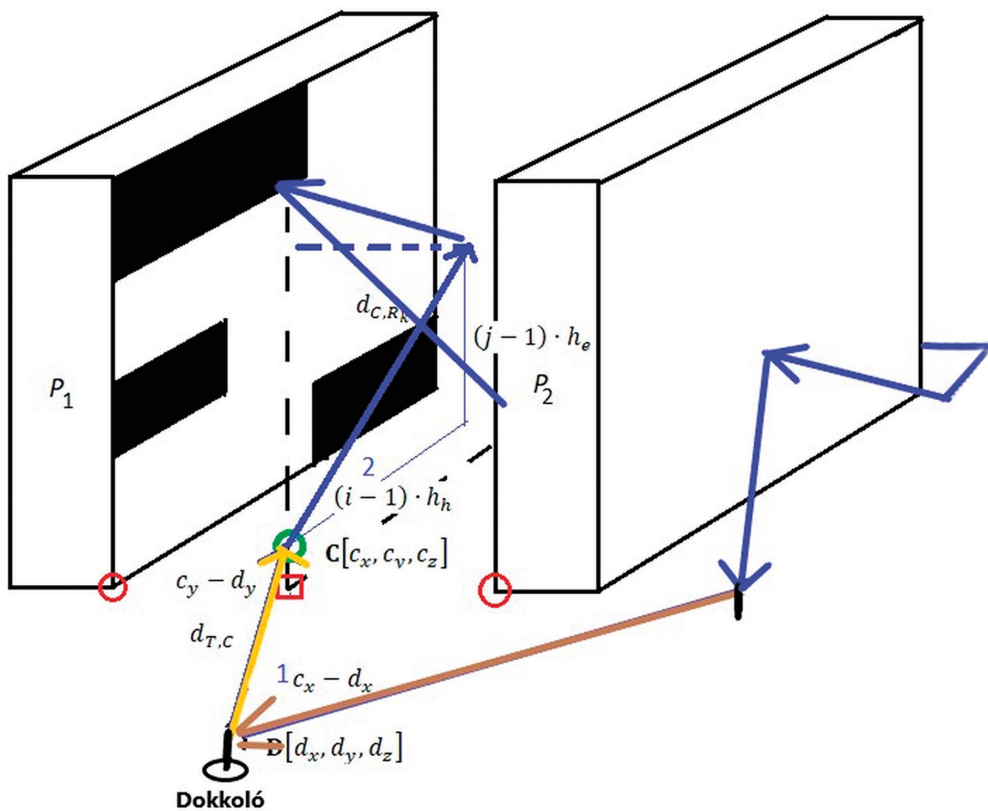
A matematikai modell elkészítése során figyelembe vettük:

1. a drónok üzemidejét és ennek megfelelően a szükséges menet közbeni töltéseket,
2. a biztonságos folyosóváltást, az ütközések elkerülését.

A feldolgozás során egy drón útját több szakaszra bontottuk, amelyek a modellezés szempontjából fontosak:

1. A drón biztonságos útja a töltőtől az első rekeszig.
2. A drón útja a következő feldolgozandó rekeszig. Ez a feldolgozandó rekesz lehet
 - a) ugyanazon polcrendszer másik rekesze,
 - b) a szemközti lévő polcrendszer egy rekesze (kameraforgás),
 - c) másik folyosó másik rekesze.

A modellt úgy készítettük el, hogy a folyosókon zajló egyirányú vagy kétirányú forgalom esetén is használható legyen. A modell részletesen megtalálható Gubán Miklós és szerzőtársai (2022a) cikkében.



1. ábra. A feldolgozás menete az egyes drónok esetén (saját szerkesztés)

A folyamatok leírásával és a modell megadásával az első két kutatási kérdésre igennel válaszolhatunk, hiszen megadtuk az automatizált feldolgozás menetét és a drónok útvonalát leíró matematikai modellt.

A modellhez kapcsolódó feladat megoldási módszere

A megoldás során módosított genetikus algoritmus felhasználásával kerestük meg a drónok legrövidebb bejárési útvonalát. Itt a leghosszabb feldolgozási idejű drón útvonalát optimalizáljuk, de a megoldásunk során a többi drón üzemideje is optimális lesz. Ehhez további algoritmusokra van szükség:

- *A célfüggvény előállító algoritmus*
Az algoritmus egy drónra adja meg egy adott útvonalra a működés idejét, de hasonló módon az összes drónra hasonlóan állíthatjuk elő a függvényt. Az algoritmus a célfüggvény aktuális kiosztáshoz tartozó értékét adja meg.
- *A korlátozó feltételek teljesülésének ellenőrzése*
A nemlineáris korlátozó feltételek algoritmus a egy adott útvonalra vizsgálja meg, hogy a modell feltételrendszere teljesül-e, vagy sem.

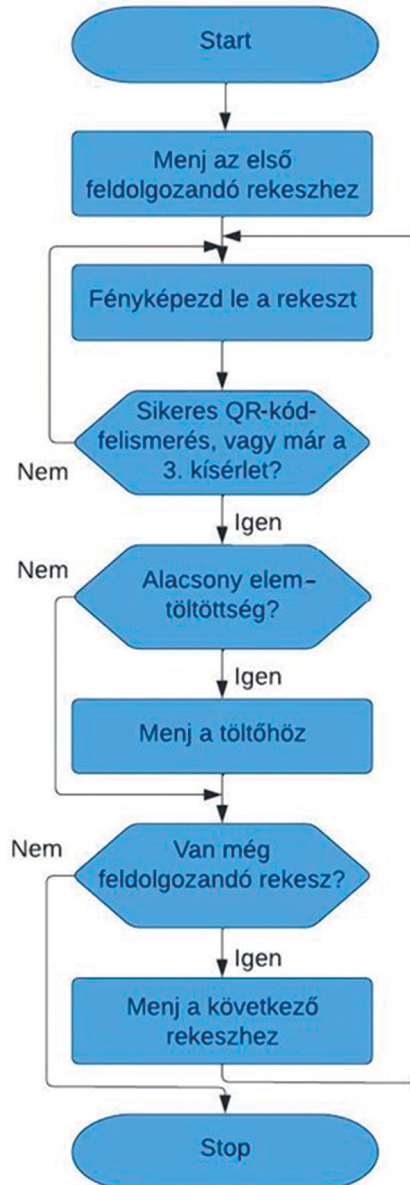
Az algoritmusok megadásával a 3. kutatási kérdés minden alkérdésére megadtuk a választ, hiszen az eljárás egyértelműen megad egy összidőre optimalizált útvonalat az egyes drónokra, megadja a kezdőrekeszt és a töltő felkeresésének időpontját.

A 2. lépés feldolgozási menete

A drón a töltőtől elmegy az első feldolgozandó folyosó első feldolgozandó rekeszéhez. A folyosón haladva a drón a megadott sorrendben keresi fel a rekeszeket, majd a rekeszről fényképet készít, amelyet elküld egy előfeldolgozó eszközre. Az előfeldolgozáskor az első vizsgálat a kép minőségét ellenőrzi. A drón addig *nem változtatja* pozícióját, amíg az előfeldolgozó alkalmazás erre nem utasítja. Ha a kép nem jó, akkor az előfeldolgozó alkalmazás újabb képet készített a drónnal (maximum háromszor). Ha jó a kép, akkor a drón tovább *folytatja* az útját. A kép feldolgozása során az előfeldolgozó rendszer megvizsgálja, hogy a fényképen szerepel-e QR-kód. Amennyiben igen, akkor annak a tartalmának kiolvasása megtörténik. Ha sikeres, akkor a központi alkalmazás felé elküldi a QR-kód tartalmát, és a feldolgozás állapotjelzőjét *sikeresre* állítja. Ha nem, akkor a rekesz feldolgozási állapotát *sikertelenre* állítja. Amennyiben nem talál QR-kódot, akkor *üres* rekesz megjegyzés kerül bejegyzésre (ez természetesen nem minden esetben jelenti, hogy valójában üres a rekesz, azonban a központi alkalmazás majd eldönti, hogy valóban üres-e, vagy hibás a feldolgozás). Ilyenkor a drónt mindig *továbbküldi* a következő rekeszhez. A további feldolgozások mindig a központi alkalmazásban történnek, és kizárólag a központi alkalmazás képességeitől függenek. A központi alkalmazásban zajló folyamatok leírása túlmutat jelen cikk keretein.

A központi alkalmazás felé minden egyes rekesz feldolgozása után az előfeldolgozó alkalmazás elküldi a rekesz helyzetét, a feldolgozás státuszát és a QR-kódban található adatokat.

A modell szerint az előfeldolgozó rendszer pontosan tudja a drón helyét a raktárban, azaz a raktáron belüli 3D-s adatok jól meghatározottak. Ez és a küldött QR-kód meg tudják mondani a készletkezelési modellnek, hogy pontosan hol található a termék, vagy ha nincs felismert QR-kód, akkor a hely üres.



2. ábra. A rekeszfeldolgozás folyamatábrája (saját szerkesztés)

Az előfeldolgozó alkalmazás a korábban meghatározott optimális útvonalakat is tartalmazza minden drónra, amely elsősorban a drónok működési idejére van optimalizálva, beleértve a drónok lemerülése esetén a feltöltés vagy elemcsere idejét is.

A 2. lépés megoldási módszerét, az első lépés eredménye alapján kell leprogramozni az előfeldolgozó alkalmazásban.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatómunka keretében a szerzők egy újszerű modellt dolgoztak ki a magasraktárak drónok segítségével történő automatikus leltározására. A szerzők több raktár vizsgálatával egy általános matematikai modellt dolgoztak ki a probléma leírására. Emellett megadták a modellhez kapcsolódó feladat megoldását biztosító algoritmusokat, így lehetővé téve a kapott eredmények gyakorlati alkalmazását. Egyúttal megvizsgálták, hogy milyen hatást gyakorol a drónok beállítása a raktári feladatok megoldásában. Ez a modell és a kapcsolódó feladat megoldása lehetővé teszi a drónok segítségével történő automatikus raktári feldolgozás fenntarthatósági szempontokra gyakorolt hatásának leírását, különös tekintettel az energiafogyasztásra.

A cikk fő *hozzáadott értéke*, hogy megmutatja, hogy matematikailag modellezhető a probléma, és ezáltal általánosan, a modell felhasználásával meg is oldható. Emellett további hozzáadott érték, hogy a feladatmegoldás jelentős hatással van a raktári feldolgozás automatizmusára, gyorsaságára és energiahatékonyaságára, miközben figyelembe veszi a raktárakkal kapcsolatos összes – a feladat szempontjából fontos – korlátot.

Jelen cikk *tudományos hozzájárulása* a terület kutatói számára a drónok használata raktári folyamatok esetén, a probléma fő elemeinek feltérképezése, a gyakorlatban korábban megvizsgált elemek általánosítása, az új, egyedi megközelítésű matematikai modellje és a feldolgozás optimális útvonalát megadó időfüggvények, valamint a megoldó algoritmus és a hozzátartozó segédalgoritmusok. Az új eredmények egyúttal igazolják azt a fontos alap gondolatot, hogy a probléma megoldható.

Az eredmények általánosíthatók, mivel a modellbe több olyan elem is be van építve (például: több drón alkalmazása, szükség esetén eltérő kezdési időponttal, eltérő polcok, egyirányú, többirányú közlekedés), amelyek a konkrét raktárakban nem feltétlenül jelentkeznek, vagy csak egy részük, így minden olyan rendszerre (amelyek nem feltétlenül raktárak) alkalmazható a modell és a megoldás, amelyre a fogalmaink és definícióink illeszkednek. Ebből következik, hogy az eredmények az optimális feldolgozási útvonalak kezelésére általánosan használhatók, illetve alkalmazhatók más típusú drónalapú szolgáltatásokra is.

A kutatás eredményei *segíthetik a vezetői döntéseket*, mivel az ismertetett módszer lehetővé teszi az automatikus raktárkezelés egyes folyamatainak elemzését és a stratégiai döntések alátámasztását különböző paraméterek vizsgálatával. Ezáltal kiválasztható a kitűzött logisztikai célokat legjobban kiszolgáló raktárkezelési mechanizmus.

A *modell korlátai* közé tartozik a hibás rekeszfeldolgozás (fényképezés) automatikus kezelése. Bár ez az esetek igen kis százalékában fordul elő, de a kérdést vizsgálni kell, hogy csökkenthető legyen a kézi feldolgozást igénylő rekeszek száma. Emellett a megoldó módszer stabilitása is kérdéseket vet fel (első megközelítésben nagyon paraméter-érzékenynek tűnik), ezért érdemes érzékenységvizsgálatot végezni, illetve további kutatásokkal javítani. Szintén érdemes a megoldási módszerek szélesebb körét megvizsgálni, esetleg más, újabb módszerekkel történő kombinálásával stabilabbá tenni a megoldóalgoritmust is.

IRODALOM

- Albattah, Waleed. – Javed, Ali – Nawaz, Marriam et al. (2022): Artificial Intelligence-Based Drone System for Multiclass Plant Disease Detection Using an Improved Efficient Convolutional Neural Network. *Frontiers in Plant Science*, 13, 808380. DOI: 10.3389/fpls.2022.808380, <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.808380/full>
- Chen, Chunlin – Dong, Daoyi (2008): Quantum Intelligent Mobile System. In: Kacprzyk, Janusz (ser. ed.): *Studies in Computational Intelligence* 121. 77–102. DOI: 10.1007/978-3-540-78532-3_4
- Chen, Wu – Meng, Xue – Liu, Jiajia et al. (2022): Countering Large-Scale Drone Swarm Attack by Efficient Splitting. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 71, 9, 9967–9979. DOI: 10.1109/tvt.2022.3178821
- Fülöp Melinda Tímea – Udvaros József – Gubán Ákos et al. (2022): Development of Computational Thinking Using Microcontrollers Integrated into OOP (Object-Oriented Programming). *Sustainability*, 14, 12, 7218. DOI: 10.3390/su14127218, <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/12/7218>
- Gubán Miklós – Udvaros József (2022a): A Path Planning Model with a Genetic Algorithm for Stock Inventory Using a Swarm of Drones. *Drones*, 6, 11, 364. DOI: 10.3390/drones6110364, <https://www.mdpi.com/2504-446X/6/11/364>
- Gubán Miklós – Udvaros József (2022b): Új módszerek a raktárkészlet ellenőrzés területén. *Logisztikai trendek és legjobb gyakorlatok*, 8, 1, 39–42. DOI: 10.21405/logtrend.2022.8.2.7, https://logisztikaitrendek.hu/wp-content/uploads/2023/01/8__22_8_1.pdf
- Han, Yuhang – Chen, Qiyong – Pan, Nan et al. (2022): Unmanned Aerial Vehicle 3D Trajectory Planning Based on Background of Complex Industrial Product Warehouse Inventory. *Sensors and Materials*, 34, 8, 3255–3269. DOI: 10.18494/sam3877, https://sensors.myu-group.co.jp/sm_pdf/SM3039.pdf
- Huang, Shan-Huen – Huang, Ying-Hua – Blazquez, Carola A. et al. (2022): Solving the Vehicle Routing Problem with Drone for Delivery Services Using an Ant Colony Optimization Algorithm. *Advanced Engineering Informatics*, 51, C, Jan. 101536. DOI: 10.1016/j.aei.2022.101536, <https://tinyurl.com/24wd66jc>

- Karamitsos, Giorgios – Bechtsis, Dimitrios – Tsolakis, Naoum et al. (2021): Unmanned Aerial Vehicles for Inventory Listing. *International Journal of Business and Systems Research*, 15, 6, 748–756. DOI: 10.1504/ijbsr.2021.118776, https://www.researchgate.net/publication/355998419_Unmanned_aerial_vehicles_for_inventory_listing
- Kiss Csaba – Harmat Vanda – Milassin Anda Nóra (2022): A robotizáció térnyerésével kapcsolatos attitűdök Magyarországon. *Vezetéstudomány / Budapest Management Review*, 53, 8–9, 2–13. DOI: 10.14267/VEZTUD.2022.08-09.01, <http://real.mtak.hu/158601/>
- Mráz, Eduard – Rodina, Jozef – Babinec, Andrej (2020): Using Fiducial Markers to Improve Localization of a Drone. *23rd IEEE International Symposium on Measurement and Control in Robotics*. (Budapest) 9263754. DOI: 10.1109/ismcr51255.2020.9263754, https://www.researchgate.net/publication/350859607_Using_fiducial_markers_to_improve_localization_of_a_drone
- Pan, Nan – Chen, Qiyong – Liu, Haishi et al. (2021): Task Planning of UAV Stocktaking Tray in Complex Industrial Storage Environment. *Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS*, 27, 10, 2940–2949. DOI: 10.13196/j.cims.2021.10.018
- Udvaros József – Gubán Ákos – Gubán Miklós (2019): Methods of Artificial Intelligence in Economical and Logistical Education. In: Roceanu, Ion (ed.): *New Technology and Redesigning Learning Spaces. Proceedings of the 15th International Scientific Conference “eLearning and Software for Education” Bucharest, April 11-12, 2019*. Vol 1. Bucharest: Carol I National Defence University Publishing House, 414–421. DOI: 10.12753/2066-026x-19-055
- Wang, Xiufen – Yang, Shenyi (2021): Improved RRT Algorithm Path Planning Combined with Artificial Potential Field Algorithm. *11th International Workshop on Computer Science and Engineering, WCSE 2021*, 133–37. DOI: 10.18178/wcse.2021.06.020, <http://www.wcse.org/WCSE%202021/020.pdf>
- Wawrla, Lukas – Maghazei, Omid – Netland, Torbjørn (2019): Applications of Drones in Warehouse Operations. *Whitepaper; Chair of Production and Operations Management Department of Management, Technology and Economics*. Zurich, Switzerland: ETH Zurich