

# A megfelelő RTOS kiválasztásának módszere

Philip Melanson, Siamak Tafazoli

## Kanadai Űrügynökség

Űrtechnológiai részleg, szoftver és földi irányítás szegmens  
6767 route de l'Aéroport, St-Hubert, Québec, Canada, J3Y 8Y9  
philip.melanson@space.gc.ca

## Előszó

Az utóbbi években az operációs rendszerek piaca jelentős aktivitást mutatott. A piacok egyik kulcsterülete a realtime alkalmazások támogatása, mivel ezen a területen egy adott operációs rendszernek rendkívül pontos végrehajtási időket kell biztosítania. Több operációs rendszer is jegyzi magát valós idejű operációs rendszerként (RTOS – RealTime Operating System), de gyakran az OS specifikációkat és részletes információkat is figyelembe véve sajnos az derül ki, hogy valójában csak egyetlen operációs rendszer azonosítható olyan OS-ként, amely maradéktalanul képes realtime alkalmazások futtatására.

A tervezők hatalmas kihívással kerülnek szembe, amikor az űrbeli feladathoz ki kell választaniuk a megfelelő operációs rendszert.

Lehetséges, hogy történeti okok, vagy talán az RTOS piac nagyon gyors változásai miatt, de mindenképp megállapítható az a tény, hogy a kiválasztott RTOS a legtöbb esetben nincs megfelelően megvizsgálva, kiértékelve az adott küldetéshez, valójában csak úgy „odarakják”. Tehát a kiválasztás nem éppen szakszerű, sokkal inkább egyéb tényezők alapján történik. Az ilyen „rarakjuk” módon történő kiválasztás lehet szerencsés is, de más esetben olyan megnövekedett kockázathoz vezethet, amely nem kívánt módon csökkenti a küldetés biztonságát.

Hogyan válasszuk ki a megfelelő RTOS-t, amely alkalmas az űrben elvégzendő realtime feladatokhoz?

- a. teljesíti a követelményeket?
- b. megfelelő a szakembereink felkészültségéhez, meglévő ismereteikhez?
- c. stratégiailag is esélyes, vagyis a jövőben is alkalmas lesz a még nem ismert feladatokhoz is?

Jelen tanulmány célja a kereskedelmi forgalomban kapható valós idejű operációs rendszerek, RTOS-k összehasonlítása olyan szempontból, melyik lesz alkalmas az űrbeli realtime feladatok elvégzésére.

Véleményünk szerint ez a kutatómunka bemutatja a világűrbe szánt küldetés során alkalmazható operációs rendszereket, továbbá megmutat egy lehetséges kiválasztási módszert, azonosítja a legalkalmasabb operációs rendszert, amely teljesíti a szükséges követelményeket, kritériumokat.

Végül, pedig a tanulmány bemutatja a piac utóbbi két évének sajátosságait, gyors változási jellegét, valamint az űrben használatos rendszerek kiválasztási módszerére gyakorolt hatását.

## 1. Bevezetés

Az utóbbi években az operációs rendszerek piaca jelentős aktivitást mutatott. Erős igény jelentkezett a gyors, megbízható számítógéprendszerekre, ez a tény pedig olyan hatást váltott ki a piacra, amely új operációs rendszerek tömegét hozta létre. A termékkála rendkívül széles a specializáltan webes alkalmazásokhoz kifejlesztett operációs rendszerektől a személyi számítógépekre és munkaállomásokra szánt rendszerekig terjedően.

A teljes termékkála egyik kulcsterülete a beágyazott valós idejű rendszerek támogatása. Sajnálatosan ma túl sok rendszer azonosítja magát valós idejű rendszerként, ezért csak a részletes műszaki specifikációk komoly idő-ráfordítással elvégzett vizsgálata adhat csak választ arra kérdésre, mely operációs rendszerek teljesítik egy valós idejű rendszer követelményeit. De még a specifikációk alapján megfelelőnek minősített rendszer kiválasztása is további vizsgálatokat igényel a determinisztikus működés szempontjából.

Tehát milyenek is a saját alkalmazásunk követelményei, a kiválasztott operációs rendszer pedig képes-e a kívánt fokú realtime működést folyamatosan biztosítani?

Ez az a helyzet, amikor egy rendszer vagy hard-realtime rendszerként lesz azonosítva, vagy épp csak a soft-realtime minősítésre esélyes.

A hard-realtime rendszer képes kell legyen garantálni az olyan alapvető funkciók determinisztikus működését, mint pl. az I/O kezelés, a programkörnyezet átváltási ideje (context switching time), stb.

Természetesen, megvizsgálni egy OS determinisztikus működését nem egyszerű feladat. A hard és soft karakterisztikák sajnálatosan nem vezetnek egyszerű igen/nem válaszokhoz. Sokkal inkább egy spektrum jellegű eredményt adnak az eredeti kérdésre.

Történeti jellegű már az a tény, hogy beágyazott rendszerek tervezői olyan számokra megfelelő kereteket írtak, amely a saját alkalmazásaik követelményeihez illeszkedett. Ez a költség és kockázat elvű megközelítés volt [1].

Továbbá, a beágyazott rendszerek piaca olyan gyorsan növekedett, amely arra kényszerítette a szoftverrendszerek gyártóit, hogy olyan megoldásokat ajánljanak, amelyek illeszkedtek a beágyazott rendszerek tervezőinek igényeihez is. Ezt pedig összekeverve az „elsőként a piacra” stratégiával, természetesen egyetlen gyártónak sem maradt elég ideje, de elég erőforrása sem a megfelelő OS kifejlesztéséhez.

A piacon megjelent számtalan termék egymással versenyezve kínál jobb árakat, erősebb nevű termékeket, még jobb szolgáltatásokat. Ebből eredően még nehezebb olyan, a valóban fontos szempontokat folyamatosan szem előtt tartani, amelyek ténylegesen fontosak a jó döntés meghozatalához. A tisztuló képben még mindig többféle OS marad fenn, a nagyon gyorsan változó összetételű piac pedig nincs segítségünkre a kiválasztásban. Ahogyan ez a tanulmány is demonstrálja, a felhígult piac gyakran egyes termékeket kiejt magából, másokat pedig beolvaszt magába, ez pedig a kiválasztás során olyan még nagyobb kihívás, amellyel a tervezőnek sajnos szembe kell néznie.

A Kanadai Űrügynökség (CSA) Szoftver és Földi irányítás szegmense érdekelté vált a hard RTOS rendszerek területén, szatellit és szimulációs rendszer platformokon. Az űrügynökség Kutatás-Fejlesztési részlegének szükségszerűen meg kellett találnia a piacon kapható RTOS -k közül azt az egyet, amely teljesen illeszkedik a mi igényeinkhez. Valamint saját szakértőinket felkérték több esetben is különféle űr-projectek kivitelezésének vezetésére is, ezzel lehetőséget biztosítva egy adott küldetés összes komponensének tökéletes megértéséhez. Hasonló kutatási feladatot végzett el a Szoftver és Földi irányítás szegmens is, a radioaktív sugárzás ellen megerősített processzorok területén [3], amely rendkívül hasznos eredményeket hozott létre.

## 2. RTOS jelöltek

A bevezető keresés az Interneten kezdődött. A szükséges idő jelentősen alá lett becsülve, a fellelhető hatalmas mennyiségű RTOS termék miatt. Ez rengeteg kérdést, talányos helyzetet vetett fel. A Dedicated Systems Experts[4] független szakértői által készített tanulmány azt állapítja meg, hogy a

legdivatosabb RTOS jelenleg a VxWorks® . Ez azt jelenti, hogy a többi termék a VxWorks® árnyékában küzd az elismertségért. Ezeket a tényeket támasztotta alá a rendszerfejlesztők véleménye, a legtöbben a VxWorks® -t nevezték meg referenciaként. De akkor miért van ennyi RTOS a piacon, ha a fejlesztők sorra mégis egyet neveznek meg? Tudnak egyáltalán a fejlesztők arról, hányféle rendszer közül választhatnának?

Mi 48-féle RTOS -t jelöltünk ki, amelyek további vizsgálatot igényelnek. A jelenleg kapható operációs rendszerek száma ennél jóval több. Nekünk pedig egyetlen RTOS -t kellett kiválasztanunk, amely meg tud felelni az úrben alkalmazandó beágyazott valósídejű rendszereink igényeinek.

Az összes szükséges információ begyűjtése után, már az első menetben több termék is kiesett a Platform és/vagy Kernel méret miatt.

Ezen a ponton több olyan termék is kiesett, amelyek nem embedded processzorokon alkalmazhatóak. Például, az olyan RTOS -k kiestek, amelyek core image mérete nagyobb volt, mint 1MB. Továbbá azok az RTOS -k is kiestek, amelyek csak mikrokontrollereken és digitális jelfeldolgozó (DSP) processzorokon futnak. Azért estek ki, mert egy központi vezérlőpultba beépíthető computerhez kerestünk RTOS-t, nem szenzorjelek feldolgozásához, vagy egyedi vezérlő feladathoz. A további kizáró feltételek voltak még a

- determinisztikai problémák,
- a behatárolt realtime képességek,
- ugyanazon gyártótól már újabb termék is kapható,
- korlátolt processzor-támogatás (pl. ha csak egy család támogatott),
- más OS függőségek (Win2000-hez ajánlott kiegészítés),
- RTOS, amely már nem támogatott, vagy nem kapható.

Az RTOS neve	Gyártó	A kiesés oka
BeOS®	Be Inc.	Platform és/vagy Kernel méret nagy
Blue Cat Linux®	LynuxWorks	Determinisztikai problémák és/vagy behatárolt realtime képességek
Chorus OS®	Sun Microsystems	Platform és/vagy Kernel méret nagy
Embedix Real-Time®	Lineo	Platform és/vagy Kernel méret nagy
Epoc®	Symbian	Platform és/vagy Kernel méret nagy
eRTOS®	JK Microsystems	Csak egyféle támogatott processzortípus
ETS®	Phar Lap (VenturCom)	Más OS függőség
EYRX®	Eyring Corp	Csak egyféle támogatott processzortípus
GEOs®	GeoWorks	Más OS függőség
Inferno®	Lucent Tech (Vita Nuova)	Platform és/vagy Kernel méret nagy
Intime®	Ten Asys	Más OS függőség
Jbed®	EsmerTech	Más OS függőség
NetBSD®		Determinisztikai problémák és/vagy behatárolt realtime képességek
On Core OS®	On Core Systems	Más OS függőség
On Time RTOS-32®	On Time Software	Más OS függőség
PDOS®	Eyring	Behatárolt processzor támogatás
PSOS®	VxWorks, előzőleg Intagrated Systems	Még kapható, de már kifutóban van a termék
QNX4®	QNX	A gyártó már újabb termékkel is rendelkezik

Real-Time Architect / SSX5®	LiveDevices Ltd.	Platform és/vagy Kernel méret nagy
RT Linux®	FMSLabs	Más OS függőség
RTX®	VenturCom	Más OS függőség
RTXC®	Lineo, előzőleg Embedded Power Corp.	Már nem forgalmazott termék
Run HyperPanel OS®	HyperPanel	Más OS függőség
Thread X®	Green Hills Software	A gyártó már újabb termékkel is rendelkezik
TronTask®	US Software	A gyártó már újabb termékkel is rendelkezik
Uclinux®	Lineo	Determinisztikai problémák és/vagy behatárolt realtime képességek
VeLOsity®	Green Hills Software	Már nem forgalmazott termék
Virtuoso®	Wind River, előzetesen Eonic Systems	Platform és/vagy Kernel méret nagy

1. Tábla: a kiesett RTOS termékek listája, valamint a kiesés oka.

Az első menet után bennmaradt 20 RTOS termék részletes értékelésen fog átmenni, az osztályozás a mi specifikus követelményeink szerint történik.

A következő tábla tartalmazza a bennmaradt RTOS termékeket.

<b>RTOS neve</b>	<b>Gyártó</b>
AMX®	Kadak
C Executive®	JMI Software Systems
CMX®	CMX Systems
Cortex®	Artesys
Delta OS®	CoreTek Systems
E COS®	Cygnus Solutions (RED HAT)
Emb OS®	Segger Microcontroller Systeme GMBH
Integrity®	Green Hills Software
Lynx OS®	Lynx Real time systems
Nucleus Plus®	Accelerated Technology incorporated
OS-9®	Microware system corp.
OSE®	OSE (Ena)
Precise/MQX®	Precise Software
QNX Neutrino®	QNX
RTEMS®	On-Line Applications Research Corporation
SuperTask®	US Software
TTPos®	TTTech
UC-OS-II®	Micrium, Inc.
VRTX®	Mentor Graphics
Vx Works®	Wind River systems

2. Tábla: A további tesztelésre kiválasztott RTOS termékek

### 3. A kiválasztás kritériumai és módszere

Az űr-ipar specifikus igényei alapján, valamint egy realtime project nyilvánvaló teljesítmény és megbízhatósági igénye miatt elkészítettünk egy átfogó szemléletű követelménylistát, amely segítségünkre lesz a űrben használandó beágyazott rendszerünkhöz legmegfelelőbb RTOS sikeres kiválasztásában.

A követelmények egyes kategóriákba vannak sorolva, amelyek a műszaki karakterisztikáktól a fejlesztéssel kapcsolatos igényekig terjednek.

Általánosan megállapítható, hogy a Dedicated Systems Experts szakértőinek követelmény rendszere [5] szolgált alapul a mi követelményeink alapjául is, de mi kiegészítettük ezt még a szatellit rendszerünk igényelte további követelményekkel is.

A Dedicated Systems Experts szakértői rendkívül magas színvonalú ismeretekkel rendelkeznek a valósidejű rendszerek területén, sokféle szolgáltatást is kínálnak. Ezen a szakterületen már több elismert színvonalú tanulmányt is publikáltak.[6-7].

Ez a tanulmány viszont nem tartalmaz specifikus követelményrendszert az OS szerkezetre vonatkozólag. Mi az RTOS termékek értékelését a legfontosabb jellemzők alapján végeztük el, súlyozott értékeket alkalmaztunk minden kritériumhoz, valamint az ezzel kapcsolatos kategóriákban is. Minden kategória egyes jellemzői 100%-os összeget alkotnak.

Összesen 43-féle jellemzőt tartalmaznak a kategóriák. Az egyes értékek megállapítása a saját szakértőink vizsgálatai, valamint a szakpublikációk alapján történt.

Az alábbi táblázat tartalmazza a kritériumlistát az egyes kategóriák szerint. Az utolsó oszlop jelzi az egyes kritériumok fontosságát.

Kategória neve	Súlypont 1.	Kritérium	Súlypont 2.	Súlyp.1 x Súlyp.2
Kernel	13%	Architektúra	35%	5%
		Többfolyamatos támogatás	15%	2%
		Többprocesszoros támogatás	25%	3%
		Hibatűrés	25%	3%
Utemezés	20%	Algoritmus	40%	8%
		Prioritás hozzárendelés mechanizmusa	20%	4%
		A taszkindítás időszükséglete, a lista méretétől való függetlenség*	40%	8%
Process/Thread/Task modell	12%	Prioritási szintek száma	26%	3,12%
		Prioritás inverzió védelem	18%	2,16%
		Taszkállapotok	10%	1,2%
		Taszkok maximális száma	18%	2,16%
		Taszk-átkapcsolási idő	18%	2,16%
		Dinamikus prioritás csere	10%	1,2%
Memória	10%	Min. és Maximális RAM terület taszkonként	20%	2%
		Min. és Max. ROM terület	20%	2%
		Max. címezhető memóriaterület taszkonként	20%	2%
		Memóriaterület védelem támogatás	20%	2%
		Dinamikus helyfoglalás támogatása	10%	1%
		Virtuális memória támogatás	8%	0,08%
		Memóriaterület tömörítése	2%	0,2%
Megszakítás és Kivételkezelés	8%	Preemptálható megszakításrutinok (ISRs)	30%	2,4%
		„Legrosszabb eset” interrupt kezelési idő	30%	2,4%
		Megszakításrutin modell vagy szintek	20%	1,6%
		Az megszakításvektor tábla módosíthatósága	20%	1,6%

Alkalmazás Programozói Interfész (API)	7%	Programkönyvtár (Library)	4%	0,28%
		Precíz, abszolút óra	10%	0,7%
		Külső óra támogatás	10%	0,7%
		Szinkronizációs és kizáró primitívek	18%	1,26%
		Kommunikáció és üzenetváltás (message passing)	18%	1,26%
		Hálózati protokollok	10%	0,7%
		Minőségi igazolások	10%	0,7%
		I/O támogatás	10%	0,7%
		Fájlrendszer	10%	0,7%
Fejlesztési információk	15%	Fejlesztési módszer	20%	3%
		RTOS támogatása forrásnyelven vagy object kóddal	15%	2,25%
		Támogatott fordítóprogram	20%	3%
		Támogatott processzorok	30%	4,5%
		Támogatott fejlesztői nyelvek	15%	2,25%
Kereskedelmi információk	15%	Költség	30%	4,5%
		Jogdíj költségek	10%	1,5%
		A piacon töltött évek száma, kiforrottság	20%	3%
		Használat időkritikus alkalmazások területén	20%	3%
		A támogatás típusa és költsége	20%	3%

#### 4. A kritériumok és súly hozzárendelési táblázat

A kiválasztási szempontok megállapítása után minden RTOS gyártó fel lett kérve a kritériumok szerinti specifikációk átadására. A gyártók specifikációnak összesített vizsgálata több hasznos eredményt is hozott. A teljes RTOS paraméterek, „portré -k” ingyenes beszerzésén túl arra is lehetőséget adott, hogy kapcsolatokat építsünk a rendszerek gyártóival.

Habár a legtöbb fejlesztő irtózik a kereskedelmi képviselőkkel történő kapcsolatfelvételtől, arra mégis tökéletes, hogy megosszuk a jelentősebb tapasztalatainkat a saját vagy bármely más termékkel kapcsolatban.

A képviselők készek megoldani a problémákat, várják a kérdéseket, mivel az új tapasztalatok segítik rendszereik fejlesztőit a munkájukban. A pártatlanság és a legitimizáció volt a másik jelentős jellemzője és haszna ennek a folyamatnak.

Mi mindenképp biztosítani akartuk az elfogulatlan, pártatlan játékszabályokat a rendszerek vizsgálata során.

Mivel a termékspecifikációk összeállításánál sajnálatosan nem minden adat állt rendelkezésre a gyártók honlapjain, ezért fordultunk a képviselőkhez.

Amikor az összes szükséges specifikáció a rendelkezésünkre állt, minden RTOS elemezve lett az átadott adatok alapján, a 3. táblázat szerinti súlyozásos elv alkalmazásával. Ehhez minden kritérium függetlenül lett megvizsgálva, a különböző értékelési módszerek alapján.

A kritériumok eltérő természete miatt szükségesek voltak az alábbi eltérő értékelési modellek.

#### **Bináris modell**

Ez a modell 0 vagy 100 pontot ad a kritérium eredménye (Igen/Nem) alapján.

A “Többprocesszoros támogatás” kritérium egy jó példa erre.

#### **Preferált karakterisztikák modell**

Ez a modell különböző szempontok alapján lett vizsgálva, az ajánlott karakterisztikák alapján.

Az “Architektúra” kritérium jó példa, ahol a legjobban értékelt architektúrák az alábbiak:

Microkernel + moduláris felépítés (vagy kliens-szerver):	100 pont
Réteges felépítés:	80 pont
Monolitikus felépítés:	60 pont

### Nem-lineáris model

Ez a modell az olyan kritériumok vizsgálata esetében volt alkalmazva, ahol a nem-lineáris szempontok jellemzőek, mint pl. a "Prioritási szintek száma" kritérium.

Ez a példa azt mutatja meg, hogy határozott különbség van 64 és 128 prioritási szinttel rendelkező rendszerek esetében, de majdnem lényegtelen a különbség egy 512 szintet tartalmazó és egy végtelen számú prioritási szinttel rendelkező rendszer között.

Ezért az alábbiak szerinti a besorolás:

0	-	64	szintű prioritás	25 pont
65	-	128	szintű prioritás	50 pont
129	-	256	szintű prioritás	75 pont
257	-	végtelen	szintű prioritás	100 pont

### Lineáris model

Ahogy a neve is jelzi, ez a modell lineáris skálát alkalmaz. Például a "Támogatott processzorok" kritérium esetében is, ahol a támogatott processzortípusok száma határozza meg az eredményt, az összes RTOS által együttesen támogatott processzortípusok alapján.

#### megjegyzés:

Néhány megadott kritérium a processzor jellegétől is függ. Ezek az alábbiak:

- legrosszabb eset a taszk átkapcsolási időre
- min. és max. RAM terület
- legrosszabb interrupt kezelési idő

Az adatok legpontosabb összehasonlítása érdekében relative ugyanahhoz a processzorhoz kellene megadni az egyes értékeket. Mivel ez az adat nem állt rendelkezésre az összes RTOS esetében azonos processzorra, ezért ezek a kritériumok nem voltak számítva, hanem minden RTOS jelölt esetében automatikusan a maximális értékre lettek kiigazítva. (pl. 100 pont)

Ezek a kritériumok így mégis fontosak maradtak, minden jelölt esetében 6,56%-ra igazítva, de a döntéshozatalnál mindenképp óvatosan kell kezelni a minősítést abban az esetben, ha egy adott processzorral értékelnénk valamelyik RTOS-t.

Az RTOS jelöltek végső osztályozásához a CSA (Kanadai Űrügynökség) saját fejlesztésű döntéshozó szoftvereszközét használtuk fel. A szoftver hierarchikus analitikai módszert alkalmazott a súlyozott átlagok kiszámításában, minden RTOS jelölt esetében.

## 5. Értékelési eredmények 2001 –ben

A besorolás számítási eredményeit a 4. tábla tartalmazza.

Az eredménytábla a legjobb RTOS jelöltek rangsorolását reprezentálja. Az eredmény azt mutatja, hogy a vizsgálati módszerünk szerint négy RTOS jelölt mindenképp megkülönböztetett figyelmet érdemel a többiekhez képest. Ezek az operációs rendszerek a QNX Neutrino®, az OS-9®, a Precise/MQX®, valamint az OSE®.

QNX Neutrino®	1. helyezett
OS-9®	
Precise/MQX®	2. helyezett
OSE®	
Delta OS®	3. helyezett
RTEMS®	
Lynx OS®	
Integrity®	
VxWorks®	
Nucleus Plus®	4. helyezett
VRTX®	
TTPos®	
C Executive®	
Emb OS®	
CMX®	
ECOS®	5. helyezett
uC/OS-II®	
SuperTask®	
AMX®	
Cortex®	6. helyezett

6.

6. táblázat: Az RTOS értékelések eredményei

Az RTOS termékekkel kapcsolatos előzetes feltételezéseinktől nem esett messze az eredmény szerinti sorrend. Például a Cortex-ről azt feltételeztük, hogy az utolsó helyen fog végezni, mivel még folyamatos fejlesztés alatt áll, nem volt még alkalma realtime alkalmazásban bizonyítani.

A VxWorks® - ról pedig feltételeztük, hogy benne lesz az első 10-ben, mivel piacvezető. De az már érdekes kérdés lenne, hogy miért előzi meg 8 jelölt.

Ahogy a vizsgálati dokumentáció is mutatja, hogy a kiválasztási folyamat egy olyan összetett feladat, amely óvatos vizsgálaton és egyedi értékelésen alapszik, minden kritérium esetében.

A mi szempontjaink az űrben használandó beágyazott rendszerek általános fejlesztési követelményein alapultak. Egyetlen olyan szempontot sem alakítottunk ki a vizsgálatához, amely a korábbi specifikus ismereteinkkel lett volna kapcsolatos.

Például, előzetes fejlesztési tapasztalatok egy adott RTOS rendszeren, lehetett volna adott szempont. A másik fontos szempont lehetett volna a már megírt kódjaink újrafelhasználási lehetőségei, ha könnyebben integrálhatnánk a meglévő forráskódjainkat, függvénykönyvtárainkat egy új rendszerbe. Ez a nem elhanyagolható szempont szerepelhetett volna a „Fejlesztési információk” kategóriában.

A legfontosabb szempont az volt, hogy minden RTOS jelöltet azonos követelményrendszer alapján vizsgáljunk meg.

Bármilyen alkalmazás-specifikus szempont szintén fontos lehet. Például, ha egy adott processzor csupán két RTOS által támogatott, akkor csak a két jelölt közül választhatunk.

Ez a tanulmány megmutatta nekünk, hogy egy RTOS kiválasztása nagyon nehéz feladat az adott alkalmazás követelményeinek szem előtt tartása nélkül, vagy ha a hardver specifikus jellemzőket mellőzzük, de mégis segítségünkre van a megszerzett tudás, a vizsgálati szempontok felismerésében. Továbbá, megfelelő útmutatóként szolgálhat egy vállalkozó számára, amikor RTOS-t választ egy nekünk szánt alkalmazáshoz.

Nehéz feladat használatra ajánlani bármelyik RTOS-t a kiszolgálni kívánt alkalmazás részletei nélkül. A mi ajánlásunk ezért az kell legyen, hogy a minőségi szempontok szerint vizsgáljuk meg az RTOS

jelöltek. Ebből a szempontból e tanulmány szerzői kényelmes választásnak érzik bármelyik rendszert az első 10 RTOS közül, a 4. tábla eredménylistája alapján. Ezek az RTOS termékek különböző rendszerekben régóta használatosak, nagyon stabil és kiforrott rendszereknek minősítettek.

Véleményünk szerint még inkább ajánlatos az 1. vagy a 2. helyezettek közül választani. A QNX Neutrino®, az OS-9®, a Precise/MQX® és OSE® olyan megkülönböztetett képességekkel rendelkezik, amelyek különlegesen alkalmasak teszik ezeket a rendszereket embedded vagy egyéb determinisztikus alkalmazások kiszolgálására.

## 7. Változások a piacon

Az eredményeket a tanulmány 2001-es befejezésével kaptuk, akkor betekintést nyerhettünk az RTOS piacra. Továbbá, lehetőségünk nyílt egy olyan követelményrendszer felállítására, amely segítségével kiválaszthatjuk a megfelelő RTOS-t egy adott project számára. A tanulmánynak a megszerzett tapasztalat és kialakított módszer létrejöttén kívül semmilyen más célja nem volt, más következményt nem is feltételeztünk.

A 2003-as év elején gyorsan tisztázódott a helyzet, hogy a tanulmány miatt korábban összegyűjtött információk akkorra már kissé elavultnak minősíthetők. 2001 óta sok változás történt, az RTOS piac gyorsan változó természete miatt. Néhány RTOS rendszer összeolvadt más rendszerekkel, valamint új rendszer is megjelent. Az RTOS ipar összetételének változásai miatt egy frissítés vált időszerűvé.

Legelőször is, a már korábban kiértékelt összes RTOS-t ismét meg kellett vizsgálnunk, milyen változások történtek. Egy gyors áttekintés azonnal megmutatta, hogy az RTOS-k többsége kiforrott állapotban továbbra is jelen van a piacon, bár a piac gyorsan változó természete miatt néhány rendszer eladásra került más rendszerek gyártói részére, míg más rendszerek eltűntek a piacról, többé nem kaphatóak.

Pl. a Mentor Graphics összeolvadt az Accelerated Technology Inc. -el, ebből kifolyólag a korábbi termékük, a Nucleus Plus® megszerzése miatt az eredeti termékük, a VRTX® szűnt meg.

Egy másik termék, az Artesys rendszere, a Cortex® pedig eltűnt a piacról. Bármilyen keresés az Internet-en csak a fő oldalukra vezet, ez pedig pedig többé nem található.

A SuperTask® és a TronTask® RTOS, amely az US Software tulajdona volt, már a Lantronix-hoz tartozik, mivel az US Software eladásra került.

Más RTOS rendszereket, amelyek az eredeti rangsorolásból még az elején kiestek, hasonló végzet ért utol. A Lineo által jegyzett RTXC® már a Quadros Systems szárnyai alá tartozik. A Lineo másik terméke, az Embedix Real-Time® és az Uclinux® most a Metrowerks-hez tartozik, bár nem teljesen tiszta a kép miatt is, de a lineo.com most a metrowerks.com-ra van átirányítva.

A SUN Microsystems feladta a Chorus OS® forgalmazását, de nyílt forráskódú ingyenes verzióként letölthető más technológiákkal együtt [8].

A BeOS® a Be Inc.-től minden intellektuális tulajdonnal együtt eladásra került a Palm Inc. részére.

A Geoworks jegyezte GEOs® már a New Deal-hoz tartozik.

Végül pedig a Wind River lecserélte a DSP megoldásokhoz szánt Virtuoso® RTOS nevét VSPWorks-ra.

Összegezve, a 2001-es tanulmányban megvizsgált 48-féle RTOS közül 12 esetében üzleti jellegű változásokat tapasztalhatunk, valamint 3 megszűnt, 8 más tulajdonoshoz került, 1 pedig nevet változtatott.

Ez az összes megvizsgált RTOS jelölt 25%-át teszi ki.

Mivel több RTOS többé nem kapható, vagy más tulajdonoshoz került, készítettünk egy áttekintést egy ipari szaklap [9], valamint a web-en fellelhető anyagok alapján, milyen új termékek jelentek meg a piacon. Számunkra egy termék új, viszont a többi továbbra is erős jelöltként jelenik meg:

- SMX®, a Micro Digital –tól, [www.smxinfo.com](http://www.smxinfo.com). X86, PowerPC, ColdFire, ARM, SH3/4 architektúrák számára. Hard realtime képességeket vállal, erős fájlrendszer és hálózati protokoll támogatása van,
- CsLEOS®, BAE Systems, [www.baesystemscontrols.com/CsLEOS/](http://www.baesystemscontrols.com/CsLEOS/). Ez az RTOS rendelkezik néhány aerospace alkalmazással. A gyártó véleménye szerint ez az egyetlen kereskedelmi, polcról kapható RTOS, amelyet egy biztonság-kritikus rendszerekkel foglalkozó cég ajánl. A jelenlegi verzió a CsLEOS® RTOS teljesíti az ARINC-653 specifikációit, az A. szintű DO-178B szerinti módon. Főleg PowerPC-khez ajánlják.
- Omega Kernel®, a Cedaryacht, [www.omega-environment.com](http://www.omega-environment.com). Ez egy új RTOS, amely a PowerPC-t célozza hardver-plattformként. Birtokában van az olyan szükséges képességeknek, amelyek alapján figyelembevehető.
- RedIce-Linux®, a RedSonic-tól. [www.redsonic.com](http://www.redsonic.com). Hibrid megoldás, realtime teljesítmény a felhasználói szintű alkalmazások számára. (egy új, preemptálható kernel alkalmazásával) Különféle architektúrák támogatottak: x86, PowerPC, ARM, MIPS, StrongARM.
- Sciopta® , a Litronic AG, [www.sciopta.com](http://www.sciopta.com). Ez a termék, úgy tűnik, több processzort és hálózati protokollt is támogat. A gyors áttekintés alapján a 32 prioritási szint azt jelzi, hogy inkább kisebb alkalmazásokhoz illeszkedik.
- VxWorks AE® , a Wind River-től, [www.windriver.com](http://www.windriver.com). Az eredeti tanulmány elkészítésekor még nem volt erről a rendszerről publikáció. A VxWorks AE embedded alkalmazásokhoz készült, a megbízhatóság, rendelkezésre állás, szervizelhetőség és biztonsági szempontok figyelembevételével. Az eredeti VxWorks-on alapuló rendszer.

## Összegzés, következtetések

Ez a tanulmány azt a célt szolgálta, hogy egy megfelelő RTOS rendszert válasszunk ki az űrben használni kívánt alkalmazásainkhoz. A kialakított kiválasztási módszer, mint egyfajta minta, alkalmas a megfelelő RTOS rendszer kiválasztásához.

Az űrben használatos alkalmazások fejlesztésének olyan a természete, amely egyfajta kockázatnak fogható fel.

Tulajdonképpen minden beruházónak, valamint beszállítónak, vállalkozónak is tájékozottnak kell lennie a megfelelő RTOS kiválasztási módszereivel kapcsolatban, a mi esetünkben pedig csökkentenünk kell az űrbéli küldetések amúgy is jelentős kockázatát.

A szerzők véleménye szerint ez a kidolgozott szelekciós módszer mindenképp tesz egy jelentős lépést az alkalmazáshoz legmegfelelőbb operációs rendszer szakszerű kiválasztásában, valamint jelentős segítséget ad abban, hogy az igényekhez legjobban megfelelő RTOS kiválasztása módszertan alapján, dokumentáltan történhessen.

Néhány évvel a kiválasztási procedúra után, az összegyűjtött dokumentáció hasznossá vált a kiválasztási folyamat finomításához, valamint az űrben használandó újabb alkalmazások különleges igényeinek pontos meghatározásához továbbra is jól használható.

Ahogy a tanulmány demonstrálja, az RTOS piac rendkívül gyorsan változó, „illékony” természetű. Habár a piac legtöbb változása nincs kapcsolatban a termékek minőségével, arra kell felkészülnünk, hogy egy adott termék támogatása vagy jelenléte a piacon szerencsétlen esetben megszűnhet. Ezért a piac illékony jellege arra kényszerít minket, hogy a kiválasztást mindenképp valamilyen módszertan alapján végezzük el, amely alapján biztosíthatjuk a rendszerkövetelmények, valamint a hosszú távú célok érvényesülését is, egyesítve ezeket egy közös tudásbázisban, amelyet bármikor újra felhasználhatunk.

Mit lehet feltételezni a jövőben? Egyetlen módon vagyunk képesek a jövőt megjósolni, ha figyelembe vesszük, megértjük a piac gyorsan változó jellegét. Lehet, hogy mindezt a beágyazott rendszerek gyorsan növekvő igényei okozzák? Vagy a hihetetlen sebességgel fejlődő egyes iparágak, technológiák, mint pl. a mobil technológia által hozott gazdasági verseny miatt történik mindez?

Ha mindezek közösen felelősek a piac gyors változásai miatt, akkor pedig a piac számára előre jelezhetjük az ellentétes irányú változásokat, a gazdasági növekedés lassulási periódusa is várható.

De abban az esetben, ha valami efféle eset valószínűsíthető, akkor a "törékenyebb" cégek termékei akár a piaci részesedés és a műszaki színvonalra való tekintet nélkül esetleg végleg eltűnhetnek a piacról és csak a legerősebb szereplő éli túl ezt a helyzetet.

Egy ilyen kedvezőtlen helyzetben a piacon megmaradt kevesebb termék leegyszerűsíti a rendszertervező dolgát az RTOS termék kiválasztásában.

Ahelyett, hogy a piac szereplőinek tétlenül kellene várniuk a helyzet kialakulását, sokkal konstruktívabb megoldás a szabványosítás útjára lépni. A POSIX szabványok bizonyosan megfelelő megoldást nyújtanak, de nem irányítják az RTOS piacot a "nem-termékspecifikus" alkalmazások irányába.

Az ITRON kezdeményezése[10] egy olyan RTOS specifikus szabványkészlet, amely a divatos nyíltság jegyében rakott le alapokat. Néhány sikert máris elkönnyelhet saját magának a Japán piacon, de ugyanakkor talán abban is segíthet, hogy az iparágat sokkal stabilabb állapotba hozza.

Kétség nem férhet ahhoz, hogy az RTOS gyártók és fejlesztők szabványosítással kapcsolatos határozott bevonása nélkül az RTOS piac végzetes irányba haladása folytatódhat!

A fejlesztőknek visszajelzéseket kell adniuk az RTOS gyártók felé, ez biztosíthatja számukra az alkalmazásaik hordozhatóságának lehetőségét a különböző RTOS-k között. Mindenképp a tervezők igényének kell lennie, hogy az RTOS termékek ragaszkodjanak az ipari szabványokhoz, az alkalmazások gyártóinak pedig közre kell működniük a legerősebb, legjobb valósidejű operációs rendszer felemelkedésében.

## Irodalomjegyzék

[1] Jack G. Ganssle, The Art Of Programming Embedded Systems, Academic Press, 1992

[2] Tom Williams, "Embedded Software Builds on Legacy Systems", RTC Magazine Volume IX Number 12 December 2000.

[3] Sid Saraf, Aaron Knoll, Mak Tafazoli, "Radiation Hardened Processors: A comparative Study", Commercialization of Military and Space Electronics conference, 2001.

[4] Martin Timmerman, "RTOS Market Survey Preliminary Results", Dedicated Systems Magazine Special Edition, 2000

[5] Dedicated Systems Experts, "What makes a good RTOS", Report, 2001

[6] Dedicated Systems Experts, "QNX 4.24 Evaluation Report", 2001

[7] Dedicated Systems Experts, "Qnx Neutrino 6.2, VxWorks AE 1.1, Windows CE.NET and ELDS 1.1 Compared", 2002

[8] Experimental Stuff, [www.experimentalstuff.com/](http://www.experimentalstuff.com/)

[9] "2002 Buyers Guide", RTC Magazine Volume XI, Number 9 September 2002

[10] ITRON specification [www.assoc.tron.org/itron/home-e.html](http://www.assoc.tron.org/itron/home-e.html)

**Fordítás:**

Kovács József, RTC Automatika Kft.