

Linux a légiforgalmi irányításban

A Linux nélkülözhetetlen a Szövetségi Légügyi Hivatal légi irányító programjához.

Sok ember szerint a Linux még nem nőtt fel a légi irányítás feladataihoz, de a valóságban felkészült, olyanra, hogy már használják is. Nemrégiben részt vettem egy projektben, amely a FAA (Szövetségi Légügyi Hivatal) Common ARTS programját (☞ <http://www1.faa.gov/ats/atb/Sectors/Automation/CommonArts/index.htm>) ültette át Linuxra.

Amikor a légi irányító rendszerekre gondolunk, többnyire egy kerek képernyőn pásztázó sugarat látunk magunk előtt. Kevesen tudják miként néz ki valójában a Radar antennarendszer. A Radar antenna és a képernyő között jó néhány számítógép teszi könnyebbé a kapcsolattartást. Digitális jelfeldolgozó processzorok (Digital Signal Processors, DSP) találhatóak mind az antenna épületében, mind a vezérlőrendszerben. Írásunk bemutatja, hogyan működik a vezérlőrendszer, és hol alkalmazzák a Linuxot.

Történelem

Az Automated Radar Terminal System (ARTS, azaz ön-működő Radar terminálrendszer) 1964-ben állt munkába, Univac számítógépeken. A rendszer 1973-ban került országos felhasználásra az Egyesült Államokban. Az eredeti számítógépeket felújították és mind a mai napig használják. Számos nagy központ már a 80-as években átköltözött az Univacról a mikroprocesszoros rendszerekre. Az összes örökölt ARTS programot átültették vagy C-ben újraírták, hogy a valós idejű LynxOS alatt legyenek futtathatók.

A LynxOS-re való költözés nem volt véletlen, mivel ez Posix alapokat nyújtott, ami lehetővé teszi a további átültetést. Ezenkívül a LynxOS használata megengedte a fejlesztők számára, hogy a használni kívánt mikroprocesszort kiválaszthassák. Kezdetben a program Motorola 68K-n futott, jelenleg PowerPC-n működik.

Kiépítés

A Common ARTS rendszer egy erősen elosztott, hálózatos, többszálú, valós idejű rendszer. A teljes megbízhatóság előfeltétel. Kettős hálózatot használnak, és normál körülmények között minden megadott feladatra két tartalék kerül kijelölésre. A programot úgy tervezték meg, hogy adott alrendszer néhány szolgáltatását át tudja venni egy másik alrendszer.

A Radar adatai soros vonalakon érkeznek be a követő processzorokhoz (track processzor – TP). Általában négy soros vonal megy minden Radarból mindegyik TP-hez. A Radar



Egy vezérlő Atlantában

adatok tartalmazzák a nyers Radar jelet, a válaszadó (transponder) válaszát (minden repülőgépnek van egy válaszadója, amely egy azonosítószámot és magassági adatot küld vissza minden alkalommal, amikor a Radar letapogatja a gépet), valamint az időjárás adatokat. Általában ugyanaz az antenna veszi mindhárom jelet. Bármelyik Radar és válaszadó adata bármelyik három soros vonalon mehet, míg az időjárás a saját soros vonalán kerül továbbításra. A TP legalább két alrendszere van osztva: a soros üzenet-összeillesztőre és a pillanatnyi nyomvonal-feldolgozóra. A soros üzenet-összeillesztő minden üzenettípust (nyers Radar, válaszadó és időjárás) hálózati üzenetté alakít át. A nyomvonal-feldolgozó az összetartozó Radar és válaszadó üzeneteket (célokat) egyetlen nyomvonallá dolgozza össze. A nyomvonal a repülőgép ismert története. A célok lehetnek Radar- vagy válaszadó jelek, vagy mindkettő. Amint egy célpont összefüggésbe kerül egy nyomvonallal, egy újabb nyomvonalüzenet kerül a hálózatra. Az üzeneteket általában a hálózaton sugározzák, vagyis a hálózat minden pontjára eljutnak. Mindkét fővonalon UDP használatával kerülnek küldésre, és minden üzenetnek egyedi csomagazonosítója van. A hálózaton az összes számítógép figyeli mind a két fővonalat, és minden csomagazonosítót, valamint az őket küldő egyedi hálózati azonosítót feljegyezi. Ha rés támad a csomagazonosítók sorában, bármely készülék kérhet újraküldést. A duplikált csomagazonosítókat azonban mellőzi, mert feltételezi, hogy ez az üzenet a másik fővonalon érkezett vagy egy másik készülék kért újraküldést.

Minden rendszernek szívveréseket kell sugározni a hálózaton. Ha egy szívverés kimarad, az azt feltételezi, hogy a hozzá tartozó rendszer nem működik, és többi rendszer egyike üzenetet küld, hogy a tartalék rendszer vegye át a feladatát.

A következő, aki a hálózati üzeneteket feldolgozza, az általános processzor (Common Processor – CP). A CP számos feladatot lát el, például párosítja a repülési terveket a nyomvonalakkal, ütközési riasztásokat (Conflict Alerts, CA) és a legkisebb biztonságos magasság riasztásokat (Minimum Safe Altitude Warning, MSAW) küld, valamint néhány Common ARTS rendszer szívverését is figyeli. A CP legfontosabb feladata a légsebesség és nyomvonal irányának meghatározása. Ezeket az adatokat összevetve más nyomvonalak sebes-



Teljesen digitális ARTS kijelző. Az ACD-k (jobb oldalon) fogják leváltani ezeket a vektorkijelzőket. Minden tekerőgomb menüben található a kijelzőn

ségével és irányával a CA állapítja meg a lehetséges ütközésveszélyt. Amennyiben ütközésveszélyt állapít meg, a CP egy CA üzenetet sugároz a hálózatra, megjelölve a feltételezett összeütközésben érintett repülőgépeket. Amikor egy repülőgép 300 csomó/s – kb. 5 mérföld percnként – sebességgel halad, fontos egy vagy két percre előre tekinteni.

Az MSAW helyszíre illesztett térképet használ a táj domborzatának ismeretéhez. A domborzathoz nemcsak a dombok és hegyek, hanem a tornyok és magas épületek is hozzátartoznak. A válaszadóval (transponder) felszerelt repülőgépek esetében az MSAW rendszer figyeli a helyzetet és magasságot, amiből megállapíthatja, hogy a gép esetleg túl alacsonyan száll. Ha egy repülőgép túl alacsonyan tartózkodónak találtott, a rendszer egy MSAW üzenetet sugároz a hálózatra. Az utolsó fő rendszer a hátsó szobában (back room) a rendszer megfigyelő és irányító (System Monitor and Control – SMC). Az SMC fő célja a többi rendszer megfigyelése és irányítása. Ez egy átjáró az SMC megjelenítő PC-re, ami grafikus kezelőfelület a hálózat és annak pillanatnyi állapotának megfigyelésére. A pillanatnyi állapot jelzi, hogy egy-egy rendszer működik, nem működik, várakozik vagy üresjáratban üzemel. Ha egy szívverés kimarad, az SMC utasítja valamelyik várakozó rendszert a feladat átvételére. A rendszer kezelője bármikor kézzel is átkapcsolhat, új programot tölthet be vagy újraindíthatja a rendszereket, mindezt erről a PC-ről teheti meg. Az SMC emellett rögzíti a hálózaton átmenő összes adatot.

Amikor a légi irányításról van szó, a legtöbbünk pusztán a kijelzőkre gondol: egy szoba tele kerek kijelzőkkel és az őket bámuló fehér inges fickókkal. Egyre több helyen használnak nagy, 20"-os, szögletes, színes kijelzőket. Az új színes kijelzők 2048×2048 képpontos X Window megjelenítők. A kijelző-feldolgozó program (Display Processing Software – DPS) kialakítása olyan, hogy a darabjait bármilyen kijelzőtípushoz fel lehet használni, például az olyan színes, szögletes kijelzőnél, mint egy ARTS Color Display (ACD), vagy a kerek vektorkijelzőnél, mint a Full Digital ARTS Display (FDAD).

A DPS fogadja a sugárzott üzeneteket és megjeleníti a megfelelő képet a rendszer állapotától függően. Normál üzemben a kijelzés magában foglalja a nyomvonal és az irány történetjelölését, egy részleges és teljes adatblokkot, valamint a különböző rendszerek állapotát.

A CP-től származó repülésterv-információ üzenet a teljes adatblokkban jelenik meg, közel ahhoz a repülőgéphez, amelyikhez a TP már elkészítette a nyomvonalat. Az SMC átfogó állapota szintén megjeleníthető. A hálózat egyszerre egy vagy akár több száz kijelzőt is használhat. Ráadásul minden rendszer egy vagy több processzoron futhat. Ha a CPU teljesítménye elég nagy, minden rendszer és alrendszer egyetlen processzoron futhat.

Átültetés

Kezdetben az átültetés oka az volt, hogy lehetővé tegyük a fejlesztők számára a kipróbálást és a hibakeresést az asztali számítógépükön, mielőtt a célgépen kipróbálnánk. A célgép LynxOST futtató VME vázban lévő Motorola OEM kártyából áll. A rendszerek viszonylag drágák, ezért sem a FAA, sem a Lockheed Martin nem akart feleslegesen begyűjteni belőlük. Ehelyett szinte folyamatosan különféle tesztrendszereket használnak az összevont kipróbálásokra és a fejlesztésre. Mivel az IS osztály Microsoft Windows NT PC-ket adott a fejlesztőknek, megpróbálták a programot átültetni NT-re. Az átültetés nagy része készen volt, amikor dolgozni kezdtem a cégnek. Néhány dolog kipróbálására az NT-t jól lehetett használni. Egy átalakító réteg tette lehetővé, hogy a Posix-szálak, a fájlműveletek és a grafika ugyanúgy nézzen ki, mint a célrendszereken, emiatt ezek kipróbálására alkalmatlan volt.

Amikor a Lockheed Martinnál kezdtem, az üzenetréteg csoporthoz kerültem, amely a kapcsolattartással, szálkezeléssel és a fájl B/K (I/O) kezeléssel foglalkozott. Alapvetően egyik tesztünket sem lehetett asztali gépen elvégezni, ezért a célszközt kellett használnom. Kezdetben egy mellékprojekt is futott, pusztán azért, hogy megbizonyosodjunk megvalósíthatóságáról, s én egy öreg (200 MHz-es Pentium) PC-t kaptam a fejlesztéshez.

A kódok többsége rendben lefordult, bár akadtak gondok a Posix-szabvánnyal. A LynxOS – a 2.4-es és 3.0-s – egy régebbi szabványt alkalmaz, míg a Linux a jelenlegit használja. Kezdetben a 2.2-es rendszermagot futtató Red Hat 7-esen végeztem a fejlesztést, de ez nem támogatta a kinevezett jelzőket (named semaphores) és a kinevezett memóriaszakaszokat. Egy olyan elosztott rendszerben, mint a miénk, könnyebb a processzoron belül állandó neveket használni, mint egyéb kapcsolattartási módszert használni, és meg tudni azt, hol találhatóak a megosztott memóriaterületek és



Képernyőfotó a 8 bites VGA Linux DSP programról. Összehasonlítva az ACD kijelzővel, csak a teljesen barna időjárás a különbség. A kék előzménycsíkok hasonlóak, a zöld válaszdó és Radar képek ugyanazok. A menü átlátszó a térképen, de az időjárás nem

jelzők. Összeférceltem egy kinevezett memória-megfelelőségi réteget (named shared memory compatibility layer) és egy orosz webhelyen találtam egy kinevezett jelző megfeleltetési réteget (named semaphore compatibility layer).

A fejlesztés során Red Hat 7.1-re váltottam, amely elvileg támogatja a kinevezett megosztott memóriát, de megfeleltetési gond akadt a *glibc* és a *header* fájlok között. A hibát megeltem a forrásban és egy feljegyzést küldtem a rendszermag-levelezőlistára. Hogy bárki, bármilyen javítás nélküli Red Hat-változattal dolgozni tudjon, a kódban hagytam az általam összefércelt változatot.

A céleszköz mind nagy endian típusú (Motorola 68K és PPC), a Linux PC pedig x86 kis endian, ezért szükségem volt némi bajtfordításra, hogy az egész rendszer működjön. Sok fájl bináris formában tárolt (térképek, adaptációk stb.). A hálózati rétegben már volt beépítve egy bajtfordító szerkezet és jól is működött.

Amint az összes üzenetkezelő kód lefordult és futott, szükségem volt egy alkalmazásra. Az FAA egyetértett, hogy fektessük le a TP, CP, SMC és DSP rendszerek további fejlesztésének alapjait az asztali kipróbáláshoz és hibakereséshez.

Az összes rendszert jól át lehetett ültetni, de a DSP-nek akadtak gondjai az X-megjelenítéssel. Normál esetben a nagy 2048×2048 képpontos megjelenítők egyedi eszközökön futnak, két vagy három alszínű fizikai síkon. Ha a menük és a térképek a hátsó síkon kerülnek kirajzolásra, az időjárás a következő síkon, a repülőgépek pedig a legfelső síkon, nem szükséges a teljes kijelzőt újrarajzolni egy repülőgép elmozdulásakor. Ahhoz, hogy ez a síkos megoldás működjön, a szintérvé három részre lett osztva. Az alszínű (8 bites) megoldás minden síkon korlátozza a használható színeket. A térkép és menüsík kapta a fehér színt, az időjárás a barnát, az elsődleges megjelenítő síknak pedig 78 szín jutott.

Emiatt szükség volt a szintábla módosítására, mivel normál esetben az elsődleges kijelző 250 színt használt. A nagy kijelzőnek van egy animált elhalványuló pásztázó vonala, amely emulálja a vektorkijelző elhalványuló foszforát.



Az irányító egy ACD-t figyel

Ennek az animációnak a megvalósítása 128 színcellába került. Ehhez az alkalmazáshoz egyetlen cellát használtam animáció nélkül. Lenyűgözően néz ki. Kikeresve a hasonló pirosakat, zöldeket, sárgákat, kékeket, fehéreket és szürkéket, megnyirbáltam a szintáblát 78 színre.

Amint mindezzel elkészültem, kaptam egy kétsíkú videokártyát, hogy lássam, még ekkor is működik-e a rendszer. Egy fordítási idejű zászló (compile time flag) átállításával az egész dolog működött. A kétsíkú kártya az időjárást, a térképeket és a menüt ugyanarra a síkra tette.

Két dolog is történt etájt: az FAA-nak leszállítottam a Linux-kódot, és néhány másik fejlesztőnek az a feladat jutott, hogy a cél PowerPC-n tegye futtathatóvá a Linuxot. Az FAA talált néhány frissítést, amit én nem vettem fel az alapkóddal, és együtt dolgoztunk rajtuk. A többi fejlesztő úgy találta, hogy az én legtöbb *#ifdefs*-em a Linuxhoz és nem a számítógéphez kapcsolódik. Emiatt visszatartottam az összes változtatásomat és elkészítettem a megfelelő *#ifdefs*-eket mire végül az FAA megkapta őket.

A PowerPC Linux Projekt arra tett kísérletet, hogy az SMC által végzett adatrögzítő feladatokat továbbfejlesszük. A jelenlegi rendszer fogyasztói szintű, boltban vásárolható optikai meghajtókat használ, amelyek nem alkalmasak 24 órás, heti hétnapos üzemre. Az új rendszer SAN meghajtókat tartalmaz, amelyek jobban illeszkednek a légiforgalmi irányítás igényeihez. Bár technikailag sikeres volt, de a projekt most szünetel.

Tavaly tavasszal az FAA használni kezdte a Linuxon futó Common ARTS-t egy nem kényes (noncritical) alrendszeren, egy olcsó átjáró rendszer, amely ARTS adattal látja el a többi rendszert. A teljes engedélyezés pedig nemsokára bekövetkezhet.

Linux Journal 2004. január, 117. szám



Tom Brusehaver

Programozó, aki már a PC előtti korszakban is kódokat írt. Jobbára szerződéses munkákat végez. Nős, felnőtt gyermekei, két macskája és egy kutyája van. Amikor szép az idő, repülőgépet épít.