

1.1 Om inbyggda system

Inbyggda system, på eng. **embedded systems**, är kombinationer av maskin- och programvara, konstruerade för att utföra specifika funktioner, quasi som moduler i ett större system.

Ex.: *Raspberry PI*

En liten dator, på eng. *singleboard computer* som ursprungligen utvecklades i pedagogiskt syfte, för att lära ut datakunskap i skolor. Pnylen blev oväntat populär p.g.a. sin låga kostnad, enkelhet, modularitet och öppna design. Den används idag förutom i utbildningssyfte, inom dattorteknik, elektronik och många andra områden.



Raspberry PI lanserades 2012 av det britiska företaget *Raspberry PI Foundation* i samarbete med *Broadcom*. Tillägget **PI** står för **Python Interpreter** och är tecken på att den lilla datorn innehåller en Python interpretator. Man har från början konciperat den för att kunna köra pythonkod och användas för att testa det interpreterande språket Python. Detta visar att Python vid sidan av C/C++ är ett lämpligt, dessutom modernt språk för programmering av inbyggda system. Raspberry PI är ett exempel på hårdvara för inbyggda system, kombinerad med lämplig software.

Operativsystem

Operativsystem hos inbyggda system är ofta varianter av operativsystem hos personatorerna, allt från Linux, Unix, IOS, Android, Windows till MS-DOS, Ofta är sådana system optimerade för inbyggt bruk, t.ex. *Windows CE* som i sina senare versioner heter *Windows Embedded Compact* och är Microsofts operativsystem för inbyggda system. Dessa kan vara GPS-navigatorer, digitala fotoramar, mobiltelefoner eller andra produkter.

På Unix-sidan har vi anpassade Linuxdistributioner. **Raspberry PI** t.ex. har ett eget Unix-liknande operativsystem. Uppstartstiden är i regel kort. I en del fall accepteras dock även längre uppstartstider på samma sätt som hos personatorer. Det finns även hybrider mellan datorer och inbyggda system i den meningen att användaren kan komplettera eller byta ut programvara i en begränsad omfattning, t.ex. mobiltelefoner.

Gränssnitt

Inbyggda system har varierande enhetstyper och tillämpningsmöjligheter. Det kan handla om allt från avsaknad av användargränssnitt (UI) – t.ex. i enheter där systemet är utformat för att utföra en enda uppgift – till komplexa grafiska användargränssnitt (GUI), t.ex. i mobila enheter. Användargränssnitten kan bestå av knappar, lysdioder och pekskärmar. Vissa system använder även externa användargränssnitt. Men det finns även inbyggda system utan något gränssnitt alls.

Realtid

Realtid beskriver operationer inom databehandling som måste garantera svarstider inom en relativt kort tid. En realtidsprocess är i allmänhet en process som är tillräckligt snabbt för att påverka den miljö där den äger rum, t.ex. inmatningar till ett datasystem.

Inbyggda system måste kunna arbeta i realtid. Detta för att kunna användas i olika sammanhang, bl.a. inom

- Robotteknik
- Väderövervakning
- Industrimaskiner
- Konsumentelektronik
- Utrustning för jordbruk
- Medicinska apparater
- Vitvaror
- Kameror
- Bilar
- Flygplan
- Tåg
- Varuautomater
- Leksaker
- Mobiltelefoner osv. ...

Inbyggda system vars respons inte sker i realtid är i praktiken inte användbara. En förutsättning för att kunna reagera i realtid är att mjukvaran är *inbyggd*, vilket betyder:

Inbyggda system måste vara hårdkodade eller åtminstone programmerbara. I praktiken innebär detta att mjukvaran finns i kompilerad form lagrad i hårdvarukomponenterna, ofta i *Read-only memory (ROM)* eller *flashminnet* i stället för på hårddisken. Ett *flashminne* är ett minne som kan läsas och skrivas och som behåller informationen också då det inte har ström. Information i flashminnen kan hanteras endast *blockvis*. Flashminnen har en enklare struktur och är billigare.

Det är inte möjligt att ladda ned och installera egen programvara, vilket har nackdelar, men även fördelen att systemet är mer driftsäkert och responsivt än hos persondatorer. T.ex. är uppstarten enkel och snabb. De inbyggda programmen är små, ofta mellan 1 kB till 1 MB.

Egenskaper hos inbyggda system

Det viktigaste kännetecknet för ett inbyggt system är att det är *uppgiftsspecifikt*. Dvs det utför en *enskild uppgift* i ett större system. I den bemärkelsen är t.ex. en mobiltelefon inte ett inbyggt system, utan en komplex kombination av många inbyggda system med många olika uppgifter. De inbyggda systemen i den utför specialiserade funktioner. Det grafiska användargränssnittet har den unika funktionen att fixa kommunikationen mellan användaren och enheten. Inbyggda system är dels förprogrammerade, dels programmerbara datorer som är utformade för specifika snarare än allmänna ändamål. Så här kan man sammanfatta egenskaperna hos inbyggda system:

- Inbyggda system består av *hardware*, *software* och *firmware*. Firmware är fast eller inbyggd programvara. En vanlig användning av firmware är BIOS i persondatorer.
- Ett inbyggt system är integrerat i en större miljö för att utföra en specifik uppgift inom miljön snarare än flera uppgifter.
- Hårdvaran i inbyggda system består av mikroprocessorer och mikrokontroller. Båda är integrerade kretsar som ger systemet beräkningskraft.
- Ett inbyggt system används ofta för avkänning och realtidsbehandling i s.k. *IoT-enheter (Internet of Things)* – enheter som är anslutna till Internet och som inte kräver att en människa använder dem.
- Inbyggda system varierar i komplexitet och funktion, vilket påverkar typen av software, firmware och hardware de använder. De måste utföra sina funktioner under tidspress, för att det större systemet ska fungera korrekt.

Inbyggda system består i allmänhet av tre huvuddelar:

- **Hardware** dvs mikroprocessorer och mikrokontroller. Mikroprocessorer är mycket lika mikrokontroller och är försedda i allmänhet med en CPU som är integrerad med andra grundläggande datorkomponenter, t.ex. minneschips och digitala signalprocessorer. I mikrokontroller är dessa komponenter integrerade i ett chip.
- **Software** i inbyggda system kan vara mycket komplex. Industriella mikrokontroller och inbyggda IoT-system kör dock i allmänhet mycket enkel programvara som kräver lite minne.
- **Firmware** är programvara som är inprogrammerad i hårdvaran och vanligtvis används för att ansluta programvaran till hårdvaran. Dvs firmware är direkt kopplad till maskinvaran. Ett enklare system kan ha endast programvara direkt i chipet, men mer komplicerade system kräver inbyggd programvara med mer komplexa programvarutillämpningar och operativsystem.

Hårdvara för inbyggda system

Hårdvaran för inbyggda system är integrerade kretsar som är utformade för att utföra beräkningar i realtid. Mikroprocessorn innehåller dock endast en central processorenhet (CPU) och kräver därför komplettering genom andra komponenter, t.ex. minneschips, medan mikrokontroller är utformade som slutna system.

Mikrokontroller innehåller inte bara en CPU utan även minne och kringutrustning som flashminne, RAM-minne eller seriellt kommunikationsgränssnitt. Eftersom mikrokontroller tenderar att implementera kompletta system (även om de har relativt låg beräkningskraft) används de ofta för mer komplexa uppgifter. Mikrokontroller används t.ex. i fordon, robotar, medicinsk utrustning och hushållsapparater. När det gäller mikrokontroller i den högre kategorin används ofta termen *System on a Chip (SoC)*, även om det inte finns någon exakt avgränsning när det gäller RAM-minne, klockfrekvens, energiförbrukning osv.

MarketsAndMarkets, ett forskningsföretag, förutspår att marknaden för inbyggda system kommer att vara värd 116,2 miljarder dollar år 2025. Bland chiptillverkarna för inbyggda system finns många välkända teknikföretag som Apple, IBM, Intel och Texas Instruments, men även många andra företag som är mindre kända utanför branschen. Den förväntade tillväxten beror delvis på fortsatta investeringar i artificiell intelligens (AI), mobil databehandling och behovet av chips som är utformade för denna högkvalitativa bearbetning.

Programvara för inbyggda system

En typisk industriell mikrokontroll är enkel i sin konstruktion jämfört med en typisk stationär dator och är i allmänhet beroende av en enklare och mindre minneskrävande programmeringsmiljö. De enklaste enheterna programmeras med hjälp av CPU:ns maskinkodspråk.

Ofta använder inbyggda system operativsystem eller språkplattformar som är skräddarsydda för användning i inbyggda system, särskilt när driftsmiljöer i realtid måste användas. På högre nivåer av chipkapacitet, t.ex. de som finns i SoC:er, har konstruktörerna i allt högre grad beslutat att systemen i allmänhet är tillräckligt snabba och att uppgifterna är toleranta mot mindre variationer i svarstiden, för att möjliggöra metoder som är nära realtid. I dessa fall används vanligtvis nedskalade versioner av operativsystemet Linux, även om andra operativsystem har skalats ner till inbyggda system, t.ex. Embedded Java och Windows IoT (tidigare Windows Embedded).

I allmänhet används antingen flashminne eller omskrivbart flashminne för att lagra program och operativsystem i inbyggda enheter.

Inbyggd fast programvara

Inbyggd firmware är specifik programvara som skrivs till en enhets minne och som tjänar samma syfte som ROM, men som kan uppdateras lättare. Firmware kan lag-

ras i minnesenheter, inklusive ROM, programmerbar ROM, raderbar ROM eller flashminne. Inbyggd fast programvara används för att styra olika enhets- och systemfunktioner. Den kan t.ex. tala om för enheten hur den ska kommunicera med andra enheter, utföra vissa funktioner och tillhandahålla in- och utmatningsfunktioner.

Skillnaden mellan begreppen inbyggd fast programvara och inbyggd programvara är otydlig. Inbyggd programvara avser ofta den enda kod som körs på en maskinvara, medan fast programvara också kan avse det chip som innehåller en enhets BIOS (Basic Input/Output System) eller UEFI (Unified Extensible Firmware Interface), som kopplar samman ett systems programvara och operativsystem.

Tillämpningar för inbyggda system

Inbyggda system används i många olika branscher inom ett brett spektrum av teknik. Här är några exempel:

- **Motorfordon** (t.ex. moderna bilar) består vanligtvis av många datorer (ibland upp till 100) eller inbyggda system som är utformade för att utföra olika uppgifter i fordonet. Vissa av dessa system har grundläggande funktioner och andra har underhållnings- eller användarfunktioner. Några inbyggda system i motorfordon är farthållare, reservsensorer, fjädringskontroll, navigationssystem och krockkuddesystem.
- **Mobiltelefoner** består av många inbyggda system, inklusive programvara och hårdvara för grafiska gränssnitt, operativsystem, kameror, mikrofoner och USB I/O-moduler.
- **Industriella maskiner** kan innehålla inbyggda system, t.ex. sensorer, och själva vara ett inbyggt system. Industriella maskiner har ofta inbyggda automationssystem som utför specifika övervaknings- och kontrollfunktioner.
- **Medicintekniska produkter** kan innehålla inbyggda system, t.ex. sensorer och styrmekanismer. Medicintekniska produkter, liksom industriella maskiner, måste också vara mycket användarvänliga så att människors hälsa inte riskeras av maskinfel som kan undvikas. Detta innebär att de ofta innehåller ett mer komplext operativsystem och ett grafiskt gränssnitt som utformats för att ge ett lämpligt användargränssnitt.

Inbyggda system vs. IoT

Inbyggda system är det bredare begreppet, dvs omfattar en större mängd prylar och apparater än IoT. Enkelt uttryckt är IoT sådana inbyggda system som förutom funktionaliteter som är styrda av digitala komponenter, dessutom har möjligheten att koppla upp sig till och kommunicera med sin omgivning via Internet.

Även om ett inbyggt system kan vara relativt enkelt, så ersätter det ökande antalet system antingen mänskligt beslutsfattande eller ger funktioner som är mer avancerade än vad en människa skulle kunna utföra. Vissa rymdsystem, inklusive de som används i drönare, kan t.ex. integrera sensordata och reagera på denna information snabbare än vad en människa skulle kunna göra, vilket möjliggör nya operativa möjligheter.

Inbyggda system förväntas fortsätta att växa snabbt, till stor del på grund av saker som internet. De växande IoT-tillämpningarna, såsom *wearables* (klockor, ringar, allt som kan bäras på kroppen), drönare, smarta hem (smart houses), smarta städer (smart cities), videoövervakning, 3D-skrivare och intelligenta transporter, förväntas driva på tillväxten av inbyggda system.

Inbyggda operativsystem

Ett inbyggt operativsystem är ett specialiserat operativsystem som är utformat för att utföra en specifik uppgift för en enhet som inte är en dator. Den huvudsakliga uppgiften för ett inbyggt operativsystem är att köra den kod som gör det möjligt för enheten att utföra sin uppgift. Det inbyggda operativsystemet gör också enhetens maskinvara tillgänglig för den programvara som körs på operativsystemet.

Exempel på inbyggda operativsystem

Många moderna elektroniska apparater är baserade på Arduino eller Raspberry PI. Raspberry PI-enheter kör ofta en ARM-baserad Linux-kärna, men det finns faktiskt ett antal olika operativsystem som kan köras på Raspberry PI-enheter. Arduino-enheter har ett mycket mer primitivt inbyggt operativsystem som inte är mycket mer än en startladdare och en kommandotolk.

Hur fungerar ett inbyggt operativsystem?

Till skillnad från ett operativsystem för en dator för allmänna ändamål kan ett inbyggt operativsystem vara mycket begränsat i sin funktion - beroende på enheten kan systemet bara köra ett enda program. Detta enda program är dock avgörande för enhetens funktion, så ett inbyggt operativsystem måste vara tillförlitligt och kunna köras med begränsningar i fråga om minne, storlek och processorkraft.

Ett inbyggt operativsystem gör det möjligt för enheten att göra sitt jobb. När det gäller Raspberry PI fungerar ett SD-kort t.ex. som enhetens hårddisk och innehåller koden som körs på enheten. Eftersom SD-kortet är utbytbart kan innehållet ändras vid behov. Eftersom det inbyggda operativsystemet gör enhetens maskinvara tillgänglig för programmet som körs på operativsystemet kan maskinvarukomponenter som USB- och HDMI-portar användas av programmen som körs på enheten.

Inbyggd vs. ej Inbyggd

Ett inbyggt operativsystem är integrerat i en enhet och kan finnas på ett chip, beroende på vilken enhet det rör sig om. Inbyggda operativsystem tenderar att vara begränsade när det gäller vad de kan göra. Ett icke-inbyggt operativsystem brukar

däremot köras från en hårddisk eller SSD. Operativsystem som inte är inbyggda, som Windows 10 eller Mac OS, tenderar att vara konfigurerbara och uppgraderbara för användaren, och de är i allmänhet utformade för allmän användning.

Historien om inbyggda system

Inbyggda system har anor från 1960-talet. Charles Stark Draper utvecklade en integrerad krets (IC) 1961 för att minska storleken och vikten på Apollo Guidance Computer, det digitala system som installerades i Apollo Command Module och Lunar Module. Som den första datorn som använde ICs hjälpte den astronauterna att samla in flygdata i realtid. 1965 utvecklade Autonetics, som numera ingår i Boeing, D-17B, den dator som används i Minuteman I-missilens styrsystem. Det är allmänt känt som det första massproducerade inbyggda systemet. När Minuteman II började tillverkas 1966 ersattes D-17B med NS-17 missilstyrningssystemet, som är känt för sin stora användning av integrerade kretsar. 1968 lanserades det första inbyggda systemet för ett fordon. Volkswagen 1600 använde t.ex. en mikroprocessor för att styra det elektroniska bränsleinsprutningssystemet.

I slutet av 1960-talet och början av 1970-talet sjönk priset på integrerade kretsar och användningen ökade kraftigt. Den första mikrokontrollen utvecklades av Texas Instruments 1971. TMS 1000-serien, som lanserades 1974, innehöll en 4-bitarsprocessor, ROM- och RAM-minne och kostade cirka 2 dollar styck vid storbeställning.

1971 lanserade även Intel en modell som allmänt anses vara den första kommersiellt tillgängliga 4-bitars mikroprocessorn. Den var utformad för användning i miniräknare och annan liten elektronik, även om den krävde evigt minne och stödchips. Den 8-bitars Intel 8008-processorn, som lanserades 1972, hade 16 KB minne. Intel 8080 följde 1974 med 64 KB minne. 8080:s efterföljare, x86-serien, lanserades 1978 och används fortfarande i stor utsträckning idag.

1987 släppte Wind River det första inbyggda operativsystemet, realtidsoperativsystemet VxWorks, följt av Microsofts Windows Embedded CE 1996. I slutet av 1990-talet dök de första inbyggda Linuxprodukterna upp. Idag används Linux i nästan alla inbyggda enheter.