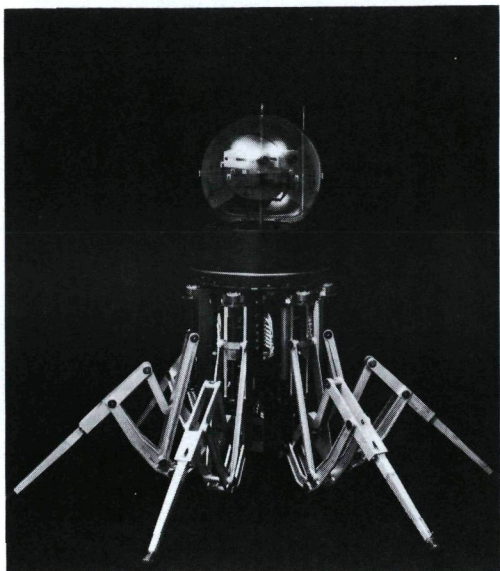




Los operadores de las salas de control ya se están beneficiando de los equipos electrónicos y las computadoras. Es posible que en el futuro, robots como el Odex (recuadro) ayuden a otros trabajadores de las centrales nucleares en labores de mantenimiento, inspección y de otro tipo.
(Cortesía: Atomic Industrial Forum, Inc.; recuadro, Odetics, Inc.)



La energía nucleoelectrica y la revolución en la electrónica

De los sistemas vídeo a los robots, los instrumentos electrónicos están influyendo en la explotación de las centrales nucleares

por Leonard Konstantinov, James Joosten y Vladimir Neboyan

Un aspecto destacado en el perfeccionamiento actual de la explotación de las centrales nucleoelectricas es el acelerado ritmo con que se desarrolla e incorpora la tecnología de las computadoras, que da origen a cambios incesantes en el diseño de la instrumentación, el control y los sistemas de seguridad de las centrales. Estos rápidos avances se han producido en un lapso de alrededor de 20 años.

En la actualidad se exige cada vez más que los equipos de medición y control que se utilizan para obtener mayor disponibilidad y economía en las centrales nucleoelectricas sean altamente fiables y más eficaces en función del costo. En respuesta a lo anterior se vienen realizando ingentes esfuerzos por utilizar aquellas novedades de la electrónica que sean idóneas para los reactores, pequeñas, consuman poca energía y puedan protegerse adecuadamente contra el nocivo ambiente de las centrales.

Por ejemplo, una microcomputadora puede depender de energía suministrada por acumuladores que hace posible el funcionamiento en caso de interrupciones del servicio eléctrico. Es también sumamente fiable ya que su tiempo promedio de funcionamiento sin fallo es de 10 a 100 veces mejor que el de las computadoras convencionales, lo que hace que su promedio de vida útil sea comparable a la vida útil de la central.

El empleo cada vez mayor de computadoras ha proporcionado además un buen instrumento para supervisar y controlar la explotación de la central. Se han alcanzado progresos fundamentales en los sistemas de apoyo al operador. Los análisis de alteraciones en las centrales y los diagnósticos de centrales son en la actualidad los objetivos fundamentales de estas técnicas. La incorporación de microprocesadores en los sistemas de protección facilita también la puesta en práctica de estrategias de "defensa profunda" que dan mayores seguridades de que el sistema de respuesta funcione de manera correcta y evitan además las interrupciones innecesarias del reactor, lo que a su vez mejora la disponibilidad de la central.

Naturalmente, las microcomputadoras y otras técnicas digitales como los circuitos integrados han obligado a incorporar un elemento nuevo, el soporte lógico, que puede fallar igual que los otros componentes del sistema. Esto, a su vez, ha provocado la necesidad de validar el soporte lógico, problema que, indudablemente, persistirá y asumirá una nueva dimensión debido al enorme aumento de las complejidades.

Los sistemas de control computadorizados han pasado ya, a lo largo de su evolución, por tres etapas de desarrollo, o, por así decirlo, de generaciones. La fiabilidad de las generaciones anteriores de los llamados sistemas centralizados fue al parecer inferior, en general, que la de los propios reactores y la de sus principales equipos tecnológicos.

A principios del decenio de 1980 surgió una nueva generación de sistemas de control para las centrales nucleoelectricas. Estos nuevos sistemas de control son sistemas distribuidos que abren una nueva esfera en la aplicación de computadoras a las centrales nucleoelectricas gracias a las grandes ventajas que ofrecen. Permiten que la computadora central se dedique a los análisis más complejos y delicados de los procesos en curso, dejando el mantenimiento de todas las unidades a cargo de los microprocesadores periféricos. De esa forma distribuyen las responsabilidades entre la unidad central de procesamiento y los periféricos con arreglo a un sistema de jerarquía que aumenta extraordinariamente la fiabilidad del sistema.

Sistemas de seguridad

Hasta hace poco tiempo, los sistemas especiales de seguridad no utilizaban computadoras. La industria nuclear no había aceptado la tecnología avanzada de control por varias razones, entre ellas, la normalización, el prolongado lapso que transcurría entre el diseño inicial y la construcción en sí y las dudas acerca de la seguridad y fiabilidad de los sistemas avanzados. Si se tiene en cuenta la larga experiencia en el empleo del control digital directo en los sistemas de regulación de los reactores, cabe considerar como sus "descendientes" naturales a las computadoras que vigilan el estado de los sistemas de seguridad y toman decisiones respecto de la seguridad con ayuda de otras computadoras, y a los sistemas de parada totalmente computadorizados.

El Sr. Konstantinov es Director General Adjunto a cargo del Departamento de Energía y Seguridad Nucleares del Organismo; los Sres. Joosten y Neboyan son funcionarios del personal del Departamento.

Esta innovación ha precisado de esfuerzos considerables para normalizar el soporte físico y lógico de los sistemas de seguridad computarizados y lograr la aceptación plena de las autoridades encargadas de conceder licencias. En la actualidad el proceso de incorporación de dispositivos digitales automatizados en los sistemas de importancia para la seguridad avanza rápidamente en varios países.

Entre las ventajas asociadas a esos avances figuran las siguientes:

- Construcción sumamente compacta
- Fácil cambio de la dotación lógica
- Facilidad para aplicar distintos métodos de auto-comprobación
- Alta fiabilidad
- Registro de acontecimientos después de la parada de la central
- Capacidad para realizar cálculos matemáticos más complejos que los que se pueden realizar con equipos convencionales
- Introducción de nuevas funciones de protección en los sistemas de seguridad.

Con la incorporación de dispositivos automatizados en los sistemas de importancia para la seguridad se mejoran la disponibilidad y la seguridad de la central porque se hace frente a las alteraciones antes de que exijan medidas de seguridad y de esta forma se ayuda al operador a evitar los errores.

Análisis de ruido

Por lo demás, la rápida evolución de la microelectrónica ha facilitado la construcción de sistemas que permiten supervisar en línea la condición en que se encuentran los componentes de la central. En este sentido, la técnica de análisis de ruido se puede aplicar a los sistemas de vigilancia de las centrales nucleoelectricas. La técnica permite detectar los daños en una etapa temprana, aumentando de esa manera la seguridad y disponibilidad de la central energética. Un gran número de experimentos realizados con señales de neutrones, de temperatura, de presión y de ruido acústico realizados en distintos laboratorios —así como el buen funcionamiento de los dispositivos experimentales para el análisis de ruido— explican el que ya algunos países hayan iniciado, y otros estén a punto de hacerlo, la aplicación práctica de los sistemas de vigilancia basados en la técnica de análisis de ruido.

Simuladores

Las ventajas de los poderosos y económicos sistemas de computadoras y el rápido perfeccionamiento de las técnicas de elaboración de modelos han puesto también los simuladores de centrales nucleoelectricas al alcance de un número creciente de usuarios.

Tras la primera reunión de especialistas del OIEA sobre simuladores de capacitación, celebrada en 1976, se han puesto en funcionamiento muchos nuevos simuladores de capacitación y se ha adquirido gran experiencia en su explotación y empleo. En la actualidad existen en el mundo unos 100 simuladores de centrales nucleoelectricas de tamaño natural para la capacitación en funcionamiento o en construcción, y su número sigue creciendo con rapidez. Se está utilizando también un gran número de simuladores de principios básicos, de tareas parciales y

otros de ámbito restringido, y puede decirse que los cursos con simuladores son un aspecto fundamental de la capacitación del operador en la mayoría de los países que cuentan con programas de energía nuclear, o se disponen a iniciarlos.

Interfaz hombre-máquina

Teniendo en cuenta la creciente complejidad de las centrales nucleoelectricas en general, y la resultante complejidad del proceso cognoscitivo humano para vigilar y controlar estas centrales y formular diagnósticos, se comprende bien el por qué se concede tanta atención en estos momentos al problema de la interfaz hombre-máquina, tanto en la explotación normal de una central como en posibles situaciones de accidentes.

En años recientes ha ganado importancia la necesidad de mejorar la interfaz entre el hombre y la máquina, puesto que se ha comprobado que el error humano es uno de los factores principales que contribuyen a la posibilidad de que se produzcan accidentes. Esto se ha confirmado mediante análisis de riesgos, así como por la experiencia obtenida del incidente de Three Mile Island y otros sucesos anormales ocurridos en centrales nucleoelectricas.

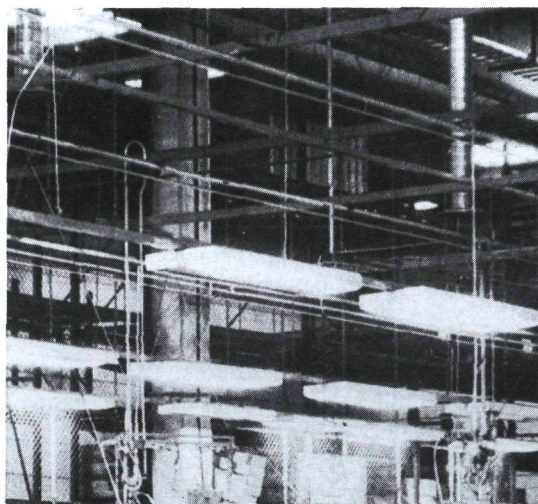
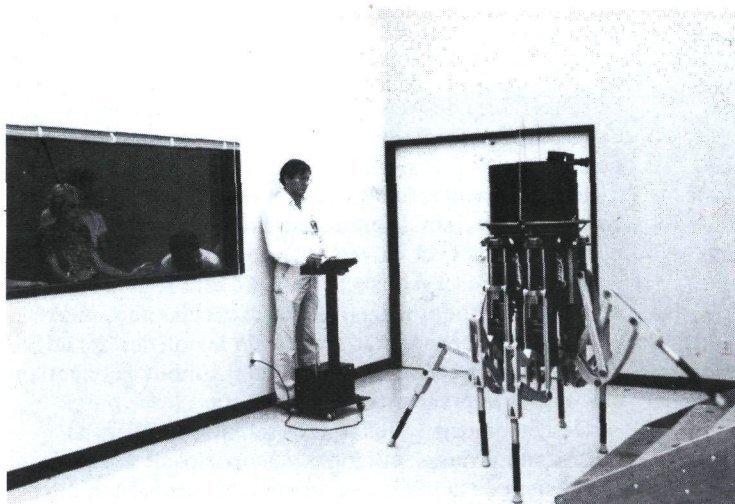
Al propio tiempo, las cuestiones sobre la relación hombre-máquina desempeñan un papel cada vez mayor dado que los nuevos sistemas de instrumentación y control se pueden adecuar más fácilmente a las necesidades del operador. La interfaz hombre-máquina del sistema computadorizado de apoyo al operador le brinda a éste información sobre la condición en que se encuentra la central y diagnóstico al respecto, recomienda y ejecuta medidas correctivas y confirma si la central ha recuperado su condición normal.

Los primeros resultados obtenidos en esta esfera parecen confirmar la posibilidad de incorporar nuevas tecnologías y métodos en la importantísima esfera de la comunicación hombre-máquina. Empero, es preciso ganar más experiencia para poder dar respuesta a la interrogante de cómo será en el futuro la sala de mando.

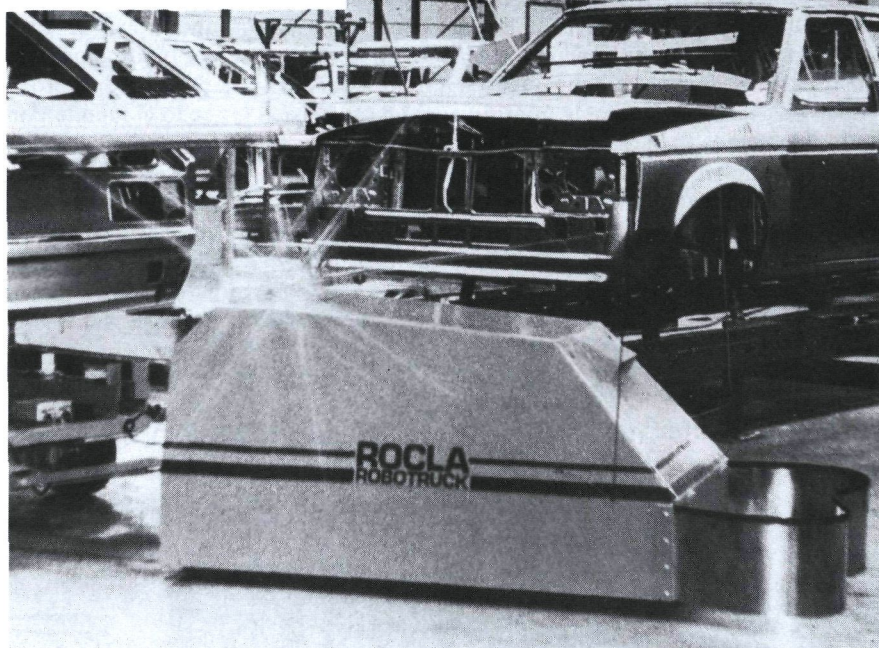
Robots y sistemas de control remoto

Conjuntamente con los logros recientes en materia de controles electrónicos, se han producido importantes avances en la esfera robótica. Hasta hace poco las referencias a los robots se limitaban casi siempre a la literatura de ciencia ficción. La propia industria de la robótica creció lentamente dado su limitado ámbito de aplicación y su elevado costo de desarrollo. En la actualidad, empero, como resultado del interés mostrado por las compañías eléctricas en el posible uso de la robótica en las centrales nucleoelectricas, los avances se suceden con rapidez.

Una de las razones más evidentes para este cambio es que los robots son capaces de trabajar en medios riesgosos como las zonas de alta temperatura, humedad e irradiación que abundan en las centrales nucleoelectricas. En estas zonas, las condiciones de trabajo resultan difíciles y no contribuyen a que se realice un trabajo de elevada calidad; el acceso de las personas se ve restringido o estrictamente limitado debido a la indumentaria protectora.



Demostración del creciente interés del sector industrial en los sistemas robóticos: un carro de horquilla elevadora teledirigido trabaja en una línea de ensamblaje de automóviles en Finlandia; en la industria nuclear los investigadores ponen a prueba el robot Odex en el Electric Power Research Institute de los Estados Unidos de América. (Cortesía: Tech Ops, Inc.; recuadro, Odetics, Inc.)



En algunos casos, los robots brindan la posibilidad de realizar trabajos que sencillamente los seres humanos no podrían hacer. En otros, los robots hacen posible que aumente la disponibilidad al sacar de la ruta crítica algunas actividades relacionadas con interrupciones. Por ejemplo, algunas de las labores de vigilancia y mantenimiento en el sistema de contención del reactor, que por lo general se realizan sólo cuando éste está parado, las pueden llevar a cabo los robots mientras la central está en línea. Los robots tienen también la ventaja de que no se cansan ni tienen "días malos", y por ende, pueden trabajar las 24 horas durante una parada forzosa. En aquellas aplicaciones de la energía nuclear en que las medidas de garantía de calidad resultan fundamentales y a menudo costosas, ofrecen ventajas respecto de la fiabilidad, la precisión y la repetición.

Los trabajos que se realizan en la actualidad a escala mundial para optimizar los compromisos relativos a dosis de radiación y mantener las exposiciones "dentro de los límites más bajos que razonablemente se puedan conseguir" constituyen un incentivo adicional para el desarrollo de la robótica. Hasta el momento se han ensayado, o se ha propuesto utilizar seis robots en las labores de limpieza del reactor averiado de Three Mile Island (TMI-2). Por ejemplo, en noviembre del año

pasado, un robot de inspección denominado RRV trabajó en el sótano del edificio del reactor, que estaba severamente contaminado. Antes de que se introdujera el robot en el lugar, la zona no se había inspeccionado desde el accidente ocurrido en 1979, salvo por breves observaciones que se realizaron con pequeñas sondas ópticas.

Las recientes técnicas de la robótica nuclear tienden a centrarse en tres esferas principales, a saber, la vigilancia, la inspección y el mantenimiento. En las esferas de vigilancia e inspección se han creado varios prototipos que se están ensayando en aplicaciones prácticas. Un ejemplo típico es un robot que puede vigilar constantemente la radiación, temperatura y humedad relativa. Es capaz de ascender escaleras, desplazarse por pasillos estrechos y de techo bajo, detectar escapes de vapor mediante sus sensores para ruido, leer los calibradores con sus cámaras de video y recoger hasta 18 muestras por frotación de contaminación radiactiva.

También se están perfeccionando robots de vigilancia, pequeños y móviles, destinados a realizar tareas de seguridad como el patrullaje del perímetro de un edificio. Si bien hace ya algún tiempo que se utilizan robots para inspeccionar la soldadura de la vasija del reactor, se están diseñando nuevos robots destinados a otras zonas difíciles de inspección de soldaduras como las asociadas

a los desperfectos en las tuberías de los reactores de agua en ebullición.

La aplicación de la robótica al mantenimiento de las centrales nucleoelectricas es, tal vez, una de las esferas de desarrollo futuro más prometedoras. Ya en 1983 se empleaban robots equipados con toberas pulverizadoras de alta presión para descontaminar paredes y pisos en TMI-2, y se estudia el empleo de un cincelador de concreto por control remoto en el sótano de contención. Recientemente llegó al mercado un robot que inspecciona y repara los tubos del generador de vapor, lo que ha eliminado la necesidad de que una persona tenga que "meterse" dentro de las zonas altamente radiactivas de la cámara impelente. Los estudios demuestran que los robots utilizados en actividades de limpieza y ajustes de rutina de los pernos en la cavidad del reactor amortizarán sus costos de desarrollo en menos de un año. Se estima también que el empleo de robots en trabajos de soldadura reducirá bastante el tiempo de interrupción del servicio.

Posiblemente el objetivo final de la robótica sea la creación de máquinas con inteligencia artificial capaces de funcionar con total autonomía y alguna forma de razonamiento autocontrolado. De ahí que el futuro de la robótica esté en el establecimiento de la unión entre la inteligencia artificial y la máquina. Si bien es de esperar que para finales del siglo se haya generalizado el empleo

de robots dirigidos por el hombre, la mayoría de los expertos considera que la utilización de robots autónomos demorará diez o veinte años más.

Evidentemente, todas estas innovaciones son muy costosas y precisan de gran cantidad de mano de obra, por lo que plantean un verdadero desafío, incluso para los grandes países industriales. Ante esta realidad, convendría a todos los países, en particular a los países en desarrollo, aprovechar al máximo la política del OIEA de fomentar la cooperación y el intercambio de experiencias a nivel internacional en esta esfera.

Desde comienzos de los años setenta, el OIEA ha organizado diversas reuniones y simposios de especialistas en la esfera de la instrumentación y el control con miras al intercambio de información técnica en las esferas mencionadas. En vista de la rapidez con que se suceden las innovaciones en los componentes electrónicos y los procesadores programables, y del creciente interés en todo el mundo por el empleo de la robótica en las aplicaciones nucleares, el Organismo planea celebrar en 1987 una Conferencia Internacional sobre "Interfaz hombre-máquina; instrumentación y control, robótica e inteligencia artificial". Los artículos de este número del *Boletín del OIEA* pueden servir de adelanto o de antecedentes respecto de muchos de los temas que se tratarán en la conferencia.

