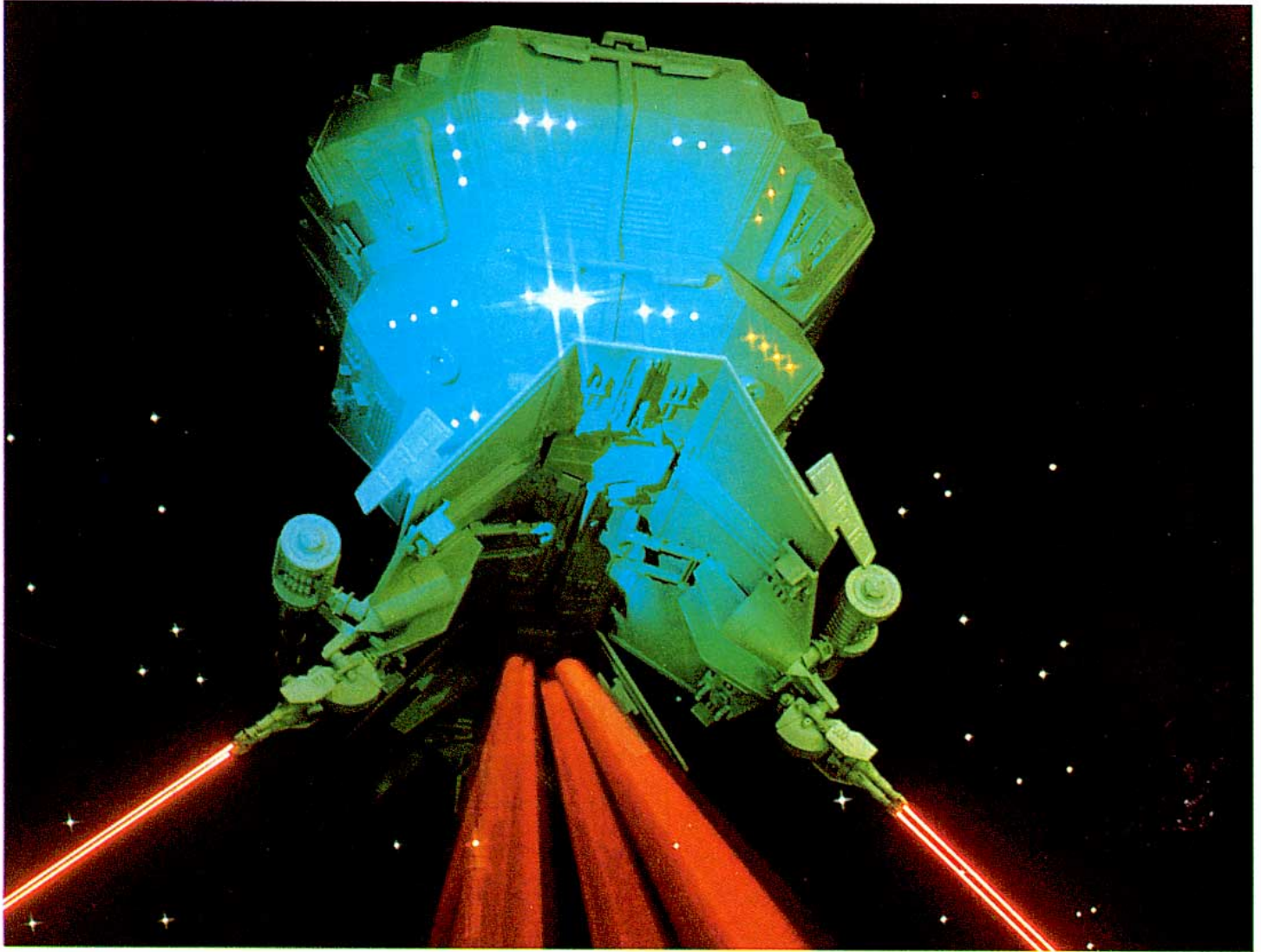




La SDI, más allá del estado del arte

La SDI, la “Guerra de las Galaxias” es, en su vertiente informática, el proyecto de mayor complejidad nunca abordado.

Existen serias dudas sobre su factibilidad. A continuación se trata de explicar el porqué.

SDI, la Iniciativa de Defensa Estratégica, junto a los interrogantes estrictamente militares que plantea, ha venido acompañada de comentarios, exaltaciones y críticas virulentas referentes a la factibilidad del proyecto en sí, en el todo y en las partes.

Nunca se había promovido un proyecto de desarrollo militar de la escala de la SDI, y nunca como ahora por parte de sus defensores se había situado el desarrollo tecnológico como factor clave del lanzamiento del programa, casi en pie de igualdad con las motivaciones estratégicas, y reafirmando las.

Por contra, de la parte de sus críticos se ha impugnado la factibilidad de su filosofía, la fiabilidad de las tecnologías informáticas y de intercepción consideradas, lo exorbitante del esfuerzo y del gasto, haciendo confluír estas críticas, sobre las consideraciones estratégicas en sí.

El proyecto de mayor escala

La Administración norteamericana ha estimado que el programa de I + D para la "Guerra de las Galaxias" costará 26 mil millones de dólares. Otras estimaciones (la Federación de Científicos Americanos) estiman el gasto en 60 mil millones de dólares de 1986, haciéndolo más costoso que el Proyecto Manhattan (15 mil millones de hace bastantes años). Las estimaciones de coste del despliegue completo de los satélites, espejos y sistemas basados en tierra que componen la SDI han oscilado entre 500.000 millones y un trillón (americano) de dólares (americanos).

El sistema de defensa total que los funcionarios de la Oficina de la IDE han examinado más asiduamente consta de cuatro etapas escalonadas, es decir, la defensa contra los misiles balísticos atacaría a los misiles enemigos en cada una de las cuatro fases de su vuelo: por ese orden (ver Cuadro 1), la de lanzamiento, en la que un vehículo de varias fases sitúa la carga por encima de la atmósfera; la de postlanzamiento, durante la cual un vehículo maniobrable libera secuencialmente por encima de la atmósfera terrestre vehículos de reentrada con ojivas nucleares y ayudas a la penetración, como señuelos o trampas; la etapa intermedia, en la que los vehículos de reentrada y los señuelos recorren la mayor parte de su trayectoria; y la etapa terminal, en la que las cabezas nucleares a bordo de sus vehículos de transporte penetran en la atmósfera y detonan sobre sus objetivos.

En un sistema desplegado de esta manera, la intercepción precisa de un salto cualitativo en el desarrollo de una serie de tecnologías de intercepción "ad hoc" (ver Cuadro 1) y, previamente, de rastreo y seguimiento de los objetivos.

Dejando para otra ocasión los aspectos tecnológicos de los métodos de intercepción a desarrollar, algunos de ellos de verdadera ciencia-ficción, la IDE destaca por su pretensión de llevar adelante el mayor sistema informático distribuido en tiempo

CUADRO 1

Armas defensivas y contramedidas

Fase de la ICBM	Armas defensivas	Contramedidas	Contra-contramedidas
Lanzamiento.	- Laser basado en tierra. - Laser basado en el espacio. - Laser de rayos X. - Cañón electromagnético ("mil-gun") basado en el espacio. - Cohete químico basado en el espacio.	- Escudo térmico, capas reflectoras, aerosoles. - Escudo térmico, capas reflectoras, aerosoles. - Lanzador rápido. - Lanzador rápido. - Lanzador rápido.	- Incrementar energía y/o intensidad del haz. - Incrementar energía y/o intensidad del haz. - Ninguna. - Ninguna. - Ninguna.
Post-Lanzamiento.	- Laser basado en tierra. - Laser basado en el espacio. - Haz de partículas basado en el espacio. - Laser de rayos X. - Cañón electromagnético basado en el espacio.	- Escudo térmico, capas reflectoras, aerosoles. - Escudo térmico, capas reflectoras, aerosoles. - Revestimiento masivo. - Revestimiento masivo. - Señuelos.	- Incrementar energía y/o intensidad del haz. - Incrementar energía y/o intensidad del haz. - Incrementar energía del haz. - Ninguna. - Seguimiento: discriminación.
Trayecto Intermedio.	- Haz de partículas basado en el espacio. - Cañón electromagnético basado en el espacio. - Cohete químico basado en el espacio.	- Revestimiento masivo. - Señuelos. - Señuelos.	- Incrementar energía del haz. - Seguimiento: discriminación. - Seguimiento: discriminación.
Terminal	- Cañón electromagnético basado en el espacio. - Cohetes químicos basados en tierra.	- proyectiles maniobrables. - proyectiles maniobrables.	- proyectiles dirigidos. - proyectiles dirigidos.

Fuente: SPECTRUM, September 1985

real que nunca se haya planteado, con unos problemas relativos al hardware y al software que muchos críticos han considerado exorbitantes, y algunos defensores los han considerado sensiblemente por delante del estado del arte.

Los tres principales problemas de la informática en la SDI

Los principales obstáculos técnicos vistos por los críticos y por los responsables de la SDI, incluido su Director, General James A. Abrahamson Jr., son los siguientes:

- Distinción entre cabezas y señuelos. Si la Unión Soviética continúa desarrollando misiles a su ritmo actual, por ejemplo, el Departamento de Defensa U.S.A.

estima que un sistema SDI habría de enfrentarse con cerca de 3.000 lanzadores de misiles con 30.000 cabezas nucleares y 250.000 señuelos.

- Intercepción de la mayoría de los misiles atacantes en la fase de lanzamiento. Sin intercepción en la fase de lanzamiento, un sistema de defensa de ciudades y objetivos militares no es factible.

- Diseño del software capaz de gestionar el combate. Cientos de miles de decisiones separadas deben ser realizadas y sincronizadas en cuestión de milisegundos.

- Construcción de un sistema defensivo que pueda hacer frente a un ataque contra él y mantener su operatividad.

- Construcción de un sistema suficientemente barato.

Aunque los problemas relativos al software de la IDE están tratados intensivamente en la colaboración de D.L. Parnas en este mismo número, puede tomarse lo que sigue como una idea de la complejidad informática que tiene el sistema.

Discriminación entre cabezas y señuelos

De acuerdo con la organización de la SDI, durante la primera fase de la misma serán las armas de energía cinética, tales como "cohetes químicos" o proyectiles de impacto ("Smart rocks"), las que dominen en el desarrollo del sistema.

Los láseres y haces de partículas pueden ser desplegados a través de un área objetivo, iluminando objetivos y posibilitando la discriminación entre los mismos. Los cañones electromagnéticos y proyectiles de impacto de alta velocidad pueden estar disponibles en la segunda fase. Una fase posterior en el sistema de defensa podría incluir armas de energía dirigida más exóticas capaces de dañar misiles o cabezas nucleares.

La cuestión crucial es, sin embargo, si tal arsenal puede actuar conjuntamente como un sistema efectivo y con credibilidad.

A diferencia de los sistemas de misiles antibalísticos de los años sesenta, preparados para destruir cabezas enemigas sólo durante su última fase de vuelo, cuando comenzaban su reentrada en la atmósfera, la SDI es capaz de destruir misiles en su fase de lanzamiento o en cualquier etapa de su vuelo (Ver figura 1 y cuadro 2).

El objetivo principal es el de destruir tantos misiles como sea posible en las fases de lanzamiento y postlanzamiento. Cada ICBM puede transportar cientos de señuelos, pero está limitado a 10 cabezas nucleares por el no ratificado tratado SALT II de 1979. Si la defensa puede derribar el 90 por 100 de los 1400 misiles enemigos en la fase de lanzamiento, por ejemplo, la defensa tendría que hacer frente sólo a 15.000 cabezas y señuelos durante el resto del vuelo. Por el contrario, si la defensa derribase sólo la mitad de los misiles en la fase de lanzamiento, tendría que enfrentarse con 77.000 objetos, sin contar "residuos". De acuerdo con un informe de la SDI de 1985, el derribo de un alto porcentaje de misiles poco después de su lanzamiento, requeriría 10 o más destrucciones por segundo por parte de la defensa durante un ataque enemigo masivo.

Una vez completada la fase de lanzamiento, las cabezas balísticas son liberadas desde los cohetes transportadores durante la siguiente fase (postlanzamiento). Acompañando a estas cabezas a lo largo de su trayectoria van una serie de objetos o señuelos, aproximadamente unos cien por cada cabeza nuclear, tales como reflectores de radar, etc. Otro tipo de señuelos, más sofisticados, acompañan a las cabezas para evitar sistemas de radar muy avanzados o detectores de infrarrojos.

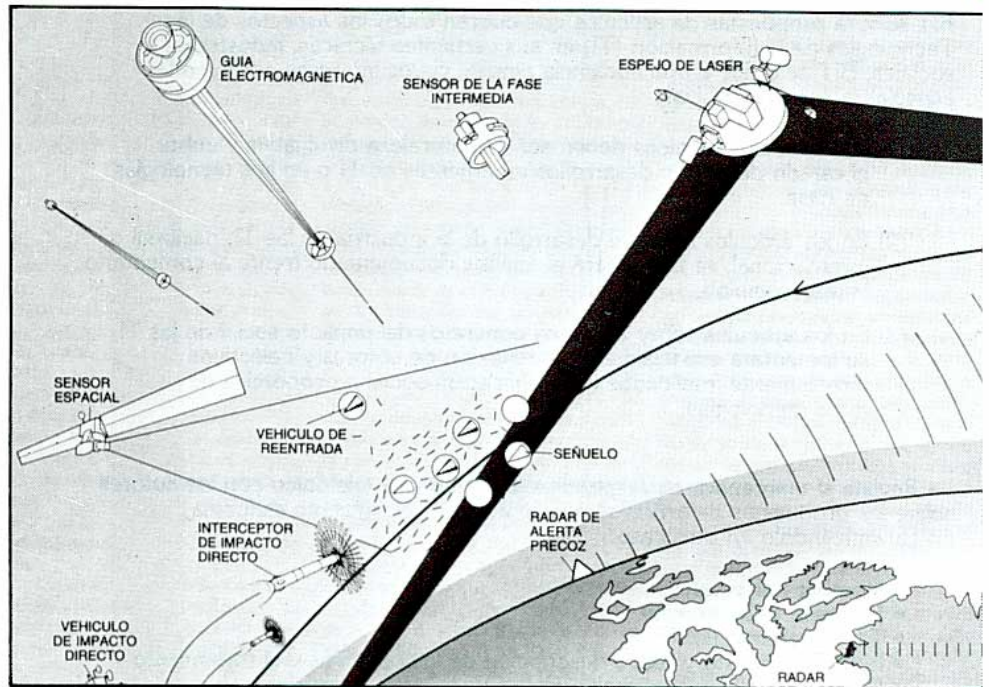


Fig. 1.— Etapas en la trayectoria de los misiles ICBM y los correspondientes sistemas de intercepción de la II

Problemas computacionales y de seguimiento

Uno de los mayores problemas con que se enfrenta un sistema defensivo ante los ICBM es el enorme número de objetos que debe de seguir, identificar y, o bien rechazar como señuelos o marcar para el ataque.

Aunque el seguimiento e intercepción de un único ICBM por único misil defensivo fue demostrado satisfactoriamente hacia 1962, el seguimiento de miles de objetos es lógicamente mucho más complicado. Por esta razón, la comisión Fletcher, en su informe sobre las necesidades de proceso de datos para la defensa contra misiles balísticos, concluyó que habrían de ser desarrollados nuevos algoritmos para información del seguimiento, para hacer posible una defensa adecuada.

Pueden ser posibles un cierto número de opciones, entre ellas, las técnicas paralelas ya desarrolladas para computadores ópticos, proceso distribuido por computadores más o menos convencionales. Mientras la computación óptica, si se demuestra factible, puede aportar al tema del seguimiento una velocidad de cómputo varios órdenes de magnitud mayor que el realizado electrónicamente, el proceso distribuido sería un intento de dividir el problema en una serie de pequeños problemas más tratables que pudieran ser manejados con computadores más convencionales.

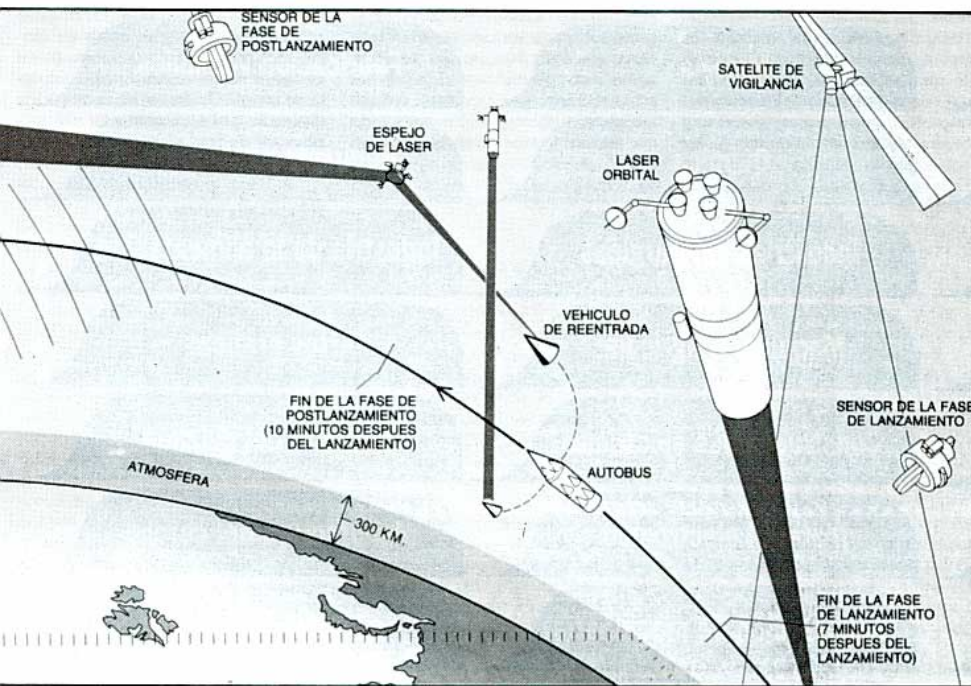
El proceso distribuido también presenta problemas: la necesidad de que muchos sensores, computadores y armas tengan que comunicarse rápidamente unos con otros, incluso si muchos enlaces de comunicación han sido destruidos, y el mantenimiento de una gran base de datos conteniendo información de todos los objetos. Mientras los ordenadores existentes y las

redes de comunicación pueden re-encaminar el tráfico de datos dependiendo de la carga o de las características del equipo, la capacidad de reconfigurar la red rápidamente si un cierto número de nodos queda sucesivamente fuera de servicio no ha sido demostrada. Los tiempos de reencaminamiento de los sistemas existentes son del orden de varios segundos y una red de defensa contra misiles balísticos podría tener que auto-reconfigurarse un centenar de veces en pocos minutos. Si está en fase de reconfiguración, la red entera podría dejar de funcionar.

Debido a la posibilidad de que varios sensores, ordenadores y centros de combate puedan ser puestos fuera de combate durante un ataque, la base de datos debe mantenerse durante la ofensiva en forma distribuida, de tal manera que la caída de un nodo no provoque la pérdida de información vital.

El cambio del control de misiles o cabezas nucleares de un enlace de un sistema defensivo a otro es otro de los aspectos del problema del proceso distribuido. Las informaciones generadas por los sensores en la fase de lanzamiento deben ser contrastadas con las efectuadas en las otras fases, de tal forma que se puede conocer si un objeto es un arma o es un señuelo, si un objetivo ha sido alcanzado o destruido, etc. Si toda esta información se puede mantener consistentemente, se puede aprovechar una gran parte del proceso defensivo en etapas posteriores, ya que este proceso de información no necesita ser repetido para cada objeto.

Los investigadores en informática no saben si esta base de datos distribuida, con entradas desde muchas fuentes, es práctica. Una tarea difícil, especialmente en el tema de las características de los equipos, sería asegurar que todas las copias de la base de



datos contengan siempre idéntica información.

Problemas del sistema de dirección de combate

Muchos expertos coinciden en que la dirección del combate es el problema técnico clave, y para ello hace falta un software tolerante a fallos. Pero, ¿cuáles son exactamente las funciones que el software de la defensa estratégica debe desarrollar? Durante la fase de lanzamiento, por ejemplo, el software debe detectar los misiles, seguirlos, asignarles las correspondientes cabezas anti-misiles, determinar si esas cabezas han alcanzado sus objetivos y proceder análogamente con restantes misiles en las siguientes fases. Aunque todas estas tareas se consideraran factibles, habrán de ser mejorados notoriamente los actuales sistemas militares.

La tarea inicial de seguimiento y discriminación, aunque potencialmente vulnerable a la saturación, es relativamente susceptible de llevarse adelante: aunque se trata de una operación de cómputo intensivo, los cálculos son repetitivos y pueden ser desarrollados por un hardware de cálculo de propósito especial. Por ejemplo, los arrays sístólicos (arrays de idénticos elementos de cálculo trabajando sincronizadamente) pueden desarrollar miles de millones de operaciones en punto flotante por segundo para procesar datos de radar, transformando señales y pulsos en listados de información sobre posición y tamaño relativo de los objetos.

Transformar los datos originales en información acerca de misiles, cabezas nucleares o señuelos individuales puede ser un tanto más difícil dependiendo de qué contramedidas use el enemigo. Probablemente, el problema de software más difícil en el

sistema de defensa estratégica es la dirección del combate: decidir qué hacer con la información una vez generada. Entre las principales operaciones destacarían:

- Guardar constancia de las posiciones, cursos y características de los diferentes lanzadores, vehículos post-lanzadores, cabezas nucleares y señuelos.
- Guardar constancia del estado y posición de todos los sensores y cabezas defensivas (la base de datos defensiva).
- Asignación de cabezas nucleares a las respectivas amenazas.
- Mantenimiento de la consistencia de la base de datos.

Cada entrada en la base de datos ofensiva puede provenir de un sensor diferente, de tal manera que su actualización debe ser distribuida. Se requieren altas tasas de rendimiento para asegurar que las diferentes fuentes de datos no tengan que esperar entre sí para actualizar la base de datos y que no bloqueen las diferentes consultas a la misma. Los mayores sistemas de procesamiento on-line construidos hoy (los dedicados a bancos) manejan menos de 1000 transacciones por segundo; un sistema SDI podría necesitar más de diez veces esa cifra.

La base de datos defensiva debe conocer qué sensores, nodos y plataformas de misiles están aún en operación, cuánta "munición" tiene cada plataforma, dónde está situada cada una de ellas y otras informaciones similares. La tasa de transacciones de esta base de datos es más baja que la de ataque.

El subsistema de asignación debe decidir que cabezas han de ser disparadas y hacia qué objetivos, dependiendo de factores tales como amenaza relativa, distancia entre proyectiles y objetivos y disponibili-

dad de una plataforma de lanzamiento particular. El problema de la asignación es completamente abordable excepto si se requiere una predicción de qué condiciones se darán cuando un centro de combate reciba una orden de disparar contra un objetivo.

La exactitud de estas predicciones depende de la consistencia de las bases de datos, de tal manera que deberán reconvertir procedimientos en caso de inconsistencia de dichas bases de datos. Por ejemplo, si una plataforma defensiva es destruida, todos los misiles que estuviera previsto anular habrían de ser asignados a otras plataformas. O, tal y como señalaba R.N. Madan coordinador para la detección, estimación y comunicaciones de la SDI, algunos sensores pueden no coincidir en la apreciación de la posición de un grupo de objetivos: una plataforma puede ver cinco objetivos, por ejemplo, y, sin embargo, otra puede ver nueve.

La pregunta que surge es: ¿están esos cinco incluidos en los nueve, o se trata en realidad de catorce objetivos? El software de dirección de combate tendría que decidir cuál de las dos imágenes es la correcta.

Todos estos problemas de consistencia podrían solucionarse por la naturaleza distribuida de la base de datos, ya que, idealmente, las actualizaciones y correcciones serían realizadas en sincronía en todas las copias. Sin esta sincronización, las consultas a la base de datos se responderían de manera diferente por diferentes copias de la base de datos. Los especialistas no han desarrollado todavía métodos para construir sistemas basados en bases de datos no sincrónicas; el problema por sí mismo no es muy bien comprendido de acuerdo con el informe de la comisión Fletcher.

Conclusiones

Los proyectos en curso para el desarrollo de sistemas de dirección de combate incluyen procesamiento paralelo en gran escala, computadores ópticos, el desarrollo de protocolos para una red que proporcionen una conectividad arbitraria entre cualquier par de puntos en una defensa de múltiples capas. La supervivencia del sistema frente a imprevistos, la tolerancia a fallos hardware, software y "person ware", la consistencia de sistemas extremadamente distribuidos, todos estos problemas deben encontrar acomodo en los 4.000 millones de dólares dedicados al apartado de Concepción de sistemas (de dirección de combate) y Supervivencia, mortalidad y tecnologías-clave (IEEE Spectrum, Sept. 1985).

Pero, por encima de todo, el software tiene todo el aspecto de convertirse en la pesadilla que ya es en sistemas informáticos algunos órdenes de magnitud menores. La dificultad de improvisar o acelerar artificialmente el desarrollo de la tecnología software es un punto en el que han coincidido unánimemente todos los críticos en tomas de posición bien conocidas, una de las cuales se publica a continuación en extracto.