



La Automatización del Ajedrez DeepBlue

Historia de la Computación

Daniel Machado Pérez
Ariel González Gómez

4 de mayo de 2025



Universidad de La Habana
Facultad de Matemática y Computación

Repositorio en GitHub

Índice

1. Introducción	4
2. Antecedentes del ajedrez computacional. De ChipTest a Deep Thought	5
2.1. ChipTest	5
2.2. ChipTest-M y transición a Deep Thought	5
2.3. Primeros éxitos y limitaciones	5
3. Origen y maduración de Deep Blue	5
3.1. Incorporación a IBM y renombrado	5
3.2. Deep Blue I (1995-1996)	6
3.3. Deep Blue II (1996-1997)	6
4. Arquitectura del sistema	7
4.1. Infraestructura IBM RS/6000 SP	7
4.2. Chips especializados	8
4.3. Jerarquía Maestro-Trabajador-Chip	8
5. Algoritmos de búsqueda y evaluación	9
5.1. Búsqueda selectiva híbrida	9
5.2. Evaluación en hardware	9
5.3. Extensiones y búsqueda cuiescente	9
6. Paralelismo y rendimiento	10
6.1. Paralelismo en software	10
6.2. Offloading a hardware	10
6.3. Medición de eficiencia	10
7. Componentes de apoyo	10
7.1. Libro de aperturas	10
7.2. Extended Book	11
7.3. Bases de datos de finales	11
7.4. Control de tiempo	11
8. Impacto y legado	12
8.1. Hito en IA y supercomputación	12
8.2. Influencias posteriores	12
8.3. Curiosidades y datos interesantes	12
9. Conclusiones	13

Resumen

El presente informe analiza en detalle la evolución y los componentes técnicos de *Deep Blue*, la primera máquina capaz de derrotar al campeón mundial de ajedrez bajo condiciones reglamentarias. Se describen los antecedentes desde ChipTest y Deep Thought, la arquitectura de hardware VLSI y del clúster IBM RS/6000 SP, los algoritmos de búsqueda híbrida en C con créditos diferidos y la función de evaluación implementada en silicio. Además, se examinan los mecanismos de paralelismo y balance de carga, el soporte de libros de aperturas y bases de finales, así como las estrategias de control de tiempo. Finalmente, se evalúa el impacto histórico y el legado de *Deep Blue* en la supercomputación y la inteligencia artificial aplicada, destacando su papel en el paso de enfoques de fuerza bruta a sistemas híbridos con conocimiento experto.

1 Introducción

Desde sus inicios, el juego de ajedrez ha sido considerado un terreno fértil para evaluar la capacidad de las máquinas para replicar formas avanzadas de pensamiento humano. La complejidad combinatoria del ajedrez, junto con su estructura formal y reglas bien definidas, lo convierten en un banco de pruebas ideal para los sistemas de inteligencia artificial. En este contexto, el desarrollo de *Deep Blue* por parte de IBM representa un hito en la historia de la computación, no solo por su impacto mediático, sino también por los avances técnicos y conceptuales que introdujo en la automatización del razonamiento estratégico.

Deep Blue no fue un simple programa de ajedrez, sino un sistema computacional altamente especializado que integraba componentes de hardware diseñados específicamente para el cálculo masivo de posiciones y movimientos posibles, junto con sofisticados algoritmos de búsqueda y evaluación posicional. La arquitectura del sistema combinó miles de procesadores en paralelo con chips dedicados a operaciones de ajedrez, permitiendo una profundidad de búsqueda y una velocidad de procesamiento inalcanzables para cualquier computadora convencional de su época.

Más allá de su capacidad para vencer a un campeón mundial, lo que convierte a *Deep Blue* en un objeto de estudio técnico relevante es su enfoque híbrido de solución: una articulación precisa entre potencia de cálculo, paralelismo masivo y conocimiento experto codificado. Este informe se centra en analizar los componentes técnicos que hicieron posible dicha hazaña, incluyendo tanto los aspectos de hardware como los mecanismos algorítmicos empleados, y cómo estos interactúan de forma coordinada para lograr un rendimiento sobresaliente en la resolución de un problema complejo como el ajedrez.

El objetivo de este estudio no es explorar los aspectos históricos del enfrentamiento entre *Deep Blue* y Garry Kasparov, aunque se comentará brevemente su contexto; el foco principal recae sobre los elementos estructurales y funcionales del sistema, desde su arquitectura paralela hasta las heurísticas que guían la evaluación de posiciones. A través de este análisis técnico, se busca comprender cómo la integración eficaz de recursos computacionales puede acercarse, e incluso superar, ciertas formas de cognición humana en dominios bien estructurados.

2 Antecedentes del ajedrez computacional. De ChipTest a Deep Thought

2.1 ChipTest

El proyecto ChipTest se inició en 1985 en la Universidad Carnegie Mellon bajo la dirección de Feng-hsiung Hsu, Thomas Anantharaman y Murray Campbell, con el objetivo de explorar la viabilidad de un generador de movimientos de ajedrez implementado en VLSI [8]. La primera versión de ChipTest estaba controlada por una estación de trabajo Sun-3/160 y alcanzaba aproximadamente 50000 posiciones por segundo [8]. En 1986, ChipTest compitió en el North American Computer Chess Championship, donde, pese a contar con pruebas limitadas antes del torneo, consiguió recuperarse tras un inicio adverso y obtuvo un resultado equilibrado [8].

2.2 ChipTest-M y transición a Deep Thought

En agosto de 1987 se rediseñó ChipTest y se rebautizó como ChipTest-M, multiplicando por diez su velocidad de búsqueda hasta alrededor de 500000 posiciones por segundo, ya sobre una Sun-4 [9]. Esta versión se alzó con el título en el NACCC de 1987 con un marcador de 4-0 [9]. El éxito de ChipTest-M condujo al desarrollo de Deep Thought: la versión 0.01 apareció en mayo de 1988 y la 0.02 en noviembre del mismo año, incorporando dos procesadores VLSI dedicados y elevando la tasa de búsqueda a casi 700000 posiciones por segundo [10]. Con Deep Thought, el equipo obtuvo el título en el World Computer Chess Championship de 1989 con un resultado perfecto de 5-0 [10].

2.3 Primeros éxitos y limitaciones

Deep Thought destacó en 1988 al compartir el primer puesto en el Software Toolworks Open de Los Ángeles, donde venció al gran maestro Bent Larsen, consiguiendo una valoración de rendimiento (USCF) de 2551 y ganando el Fredkin Intermediate Prize [10]. Asimismo, ganó el ACM Computer Chess Championship en Orlando ese mismo año [10]. Pese a estos logros, la arquitectura de ChipTest y Deep Thought permanecía limitada por un grado de paralelismo moderado (dos chips VLSI en configuración típico o procesadores uniprosesador), lo que restringía la profundidad uniforme de búsqueda y obligaba a depender intensamente de heurísticas de selección y extensiones locales para obtener rendimiento competitivo [10].

3 Origen y maduración de Deep Blue

3.1 Incorporación a IBM y renombrado

A finales de 1989, parte del equipo original de ChipTest y Deep Thought (Feng-hsiung Hsu y Murray Campbell) pasó al IBM T.J. Watson Research Center para continuar el desarrollo de máquinas de ajedrez de alto rendimiento. En este nuevo

entorno se estableció el proyecto *Deep Thought 2*, considerado el paso intermedio hacia lo que pronto sería conocido como *Deep Blue* [7]. Bajo la dirección de la división de investigación de IBM, el sistema heredó la arquitectura basada en chips VLSI especializada para generar y evaluar movimientos de ajedrez, al tiempo que incorporaba herramientas de software más avanzadas para depuración, afinamiento de la función de evaluación y análisis de partidas [7].



Figura 1: Equipo central de Deep Blue, Joe Hoane, Feng-hsiung Hsu y Murray Campbell.

3.2 Deep Blue I (1995-1996)

El prototipo *Deep Blue I* comenzó a tomar forma en 1995, tras tres años de diseño de un chip de búsqueda único. La primera remesa de circuitos llegó en septiembre de ese año y, una vez solucionados los defectos iniciales, en enero de 1996 se dispuso de la versión estable. El sistema corría sobre un clúster IBM RS/6000 SP de 36 nodos y empleaba 216 chips VLSI, cada uno capaz de explorar entre 1.6 y 2 millones de posiciones por segundo. En conjunto, la máquina alcanzaba velocidades de entre 50 y 100 millones de posiciones por segundo [7].

En febrero de 1996, *Deep Blue I* se enfrentó a Garry Kasparov bajo condiciones de torneo: tras empatar 2-2 en las cuatro primeras partidas, Kasparov ganó los dos encuentros finales, venciendo por 4-2 [7]. Aunque el resultado favoreció al campeón humano, la serie demostró que una máquina especialmente diseñada podía competir de tú a tú con la élite mundial.

3.3 Deep Blue II (1996-1997)

Tras el match de 1996 quedó patente la necesidad de mejorar la función de evaluación y aumentar el paralelismo. En respuesta, IBM diseñó un nuevo chip que amplió los rasgos de evaluación de alrededor de 6 400 a más de 8 000, incorporó detección de repeticiones en hardware y optimizaciones en generación de jugadas, elevando la velocidad de cada chip a 2-2.5 millones de posiciones por segundo. Además, el

sistema pasó a disponer de 480 chips VLSI distribuidos en 30 nodos SP, duplicando con creces la capacidad de búsqueda [7].

Entre enero y mayo de 1997, el equipo dedicó la mayor parte de sus esfuerzos a afinar la función de evaluación y a preparar la base de datos de aperturas y finales. El resultado fue *Deep Blue II*, que derrotó a Kasparov por $3\frac{1}{2}$ - $2\frac{1}{2}$ en mayo de 1997, convirtiéndose en la primera máquina en vencer al campeón mundial en un match reglamentario y recibiendo por ello el Premio Fredkin [7].



Figura 2: Deep Blue.

4 Arquitectura del sistema

4.1 Infraestructura IBM RS/6000 SP

El corazón de *Deep Blue* es un clúster IBM RS/6000 SP compuesto por treinta nodos equipados con procesadores Power2 Super Chip (P2SC), de los cuales veintiocho funcionan a una frecuencia de 120 MHz y dos a 135 MHz. Cada nodo dispone de 1 GB de memoria RAM y 4 GB de almacenamiento local. La interconexión se

realiza mediante un conmutador de alta velocidad que implementa el estándar MPI, garantizando una latencia mínima en el envío y recepción de posiciones de ajedrez durante la búsqueda paralela [7, 11].

4.2 Chips especializados

Para alcanzar velocidades de exploración de árbol imposibles en un ordenador convencional, *Deep Blue* emplea 480 chips VLSI especializados, distribuidos en los treinta nodos SP. Cada chip integra tres módulos fundamentales: un generador de movimientos basado en lógica combinatoria (matriz 8×8), una función de evaluación en dos niveles —rápida (un ciclo de reloj) y lenta (análisis columna por columna de estructuras complejas)—, y un controlador de búsqueda alpha-beta de ventana nula con extensiones locales (jaques, peones pasados, detección de repeticiones en 32 plies) [7]. Este diseño en silicio permite examinar, de forma acumulada, entre 2 y 2.5 millones de posiciones por segundo por chip. [11]

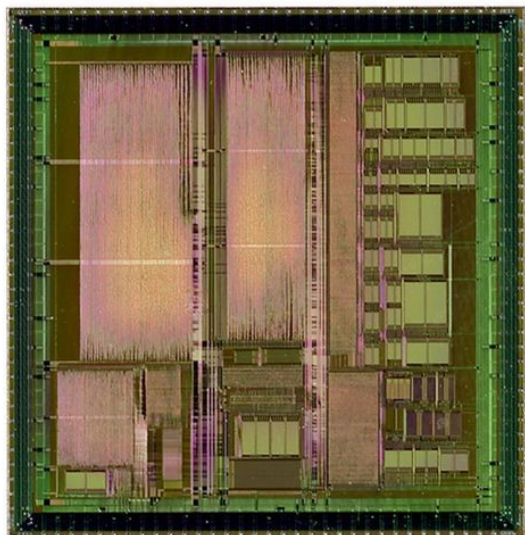


Figura 3: Esquema del chip VLSI de Deep Blue: generador de movimientos, evaluación rápida/lenta y controlador alpha-beta de ventana nula.

4.3 Jerarquía Maestro–Trabajador–Chip

La ejecución de la búsqueda se organiza jerárquicamente en tres niveles. En el nivel superior, un nodo maestro realiza las primeras iteraciones de la búsqueda, generando posiciones “hoja” de tamaño medio. A continuación, esos nodos hoja se distribuyen entre veintinueve nodos trabajadores que profundizan el análisis unas pocas plies más, aplicando tablas de transposición y heurísticas de selección. Finalmente, cada trabajador delega las posiciones finales a un grupo de chips VLSI (16

por nodo) para que efectúen la búsqueda más profunda y quiescente en hardware. Esta arquitectura maestro-trabajador-chip maximiza el paralelismo y mantiene siempre ocupados tanto los procesadores como los chips especializados [7, 11].

5 Algoritmos de búsqueda y evaluación

La fortaleza de *Deep Blue* radica en la combinación sinérgica de un motor de búsqueda en software con una evaluación especializada en hardware. Este enfoque híbrido permite explotar al máximo tanto la flexibilidad algorítmica como la velocidad de procesamiento en silicio [6].

5.1 Búsqueda selectiva híbrida

El motor en C emplea el algoritmo “dual credit with delayed extensions”, que otorga *créditos* parciales a movimientos forzantes o de elevado carácter táctico (FFP) y sólo los *canjea* cuando su acumulación supera un umbral predefinido, evitando así explosiones en la exploración del árbol de juego. Para preservar la coherencia de la Variación Principal, cada bando mantiene su propia cuenta de crédito y, al extenderse uno, se descuenta el mismo importe al adversario, garantizando un “sobre de búsqueda” que impide re-búsquedas oscilantes. Gracias a este mecanismo, *Deep Blue* ajusta dinámicamente la profundidad de búsqueda en función de la complejidad táctica de la posición, llegando a profundidades efectivas de hasta cuarenta plies en las variantes más forzadas [6].

5.2 Evaluación en hardware

La evaluación de posiciones se realiza completamente en silicio mediante más de 8 000 patrones VLSI. En un primer paso, la evaluación rápida suma en un único ciclo de reloj los valores básicos de material y posicionamiento. A continuación, la evaluación lenta analiza columna por columna estructuras posicionales complejas —como seguridad de rey, configuración de peones y control de casillas críticas— utilizando tablas parametrizables cuyos pesos fueron ajustados por herramientas automáticas y entrenamiento comparativo. Este diseño asegura que cada evaluación se ejecute en tiempo constante, sin degradar la velocidad global de búsqueda [6].

5.3 Extensiones y búsqueda cuiescente

Para mitigar el “efecto horizonte” y capturar tácticas decisivas, *Deep Blue* aplica extensiones locales y búsqueda cuiescente tanto en hardware como en software. Entre los criterios de extensión destacan la *singularidad* (cuando un movimiento es claramente superior a todas las alternativas, se extiende 1-2 plies adicionales) y los *chequeos* o *empuje de peón a séptima*, que reciben tratamiento preferente para explorar líneas forzadas. La detección de repeticiones se implementa mediante un buffer circular de 32 plies en el chip, que invalida automáticamente ramas cíclicas mediante un fallo bajo (“fail-low”) [6].

La búsqueda cuiescente continúa hasta que no quedan capturas críticas ni amenazas inmediatas, garantizando que sólo se evalúen posiciones *quietas* y evitando así que variantes tácticas escapadas distorsionen la valoración final.

6 Paralelismo y rendimiento

6.1 Paralelismo en software

El paralelismo en software de *Deep Blue* se articula en varios niveles para maximizar el aprovechamiento de los 30 nodos SP antes de delegar en hardware. En primer lugar, se emplea *PV-parallelism*, donde tras explorar el primer movimiento de la Variación Principal (PV) todas las alternativas pueden evaluarse en paralelo con ventanas de búsqueda desplazadas para conservar la selectividad [7]. En segundo lugar, en nodos que “fallan alto” (fail-high), se pueden lanzar en paralelo búsquedas de profundidad reducida para refinar amenazas y extensiones, mientras que en nodos que “fallan bajo” (fail-low) todas las ramas se procesan concurrentemente hasta encontrar un corte [7]. Finalmente, la sincronización global se realiza al término de cada iteración de búsqueda, garantizando consistencia de las tablas de transposición y de los datos de análisis antes de pasar a la siguiente profundidad [7].

6.2 Offloading a hardware

Una vez exploradas varias capas en software, *Deep Blue offloads* de forma asíncrona las posiciones finales a los 480 chips VLSI. Cada nodo SP puede gestionar múltiples búsquedas de chip en paralelo, enviando trabajos y recibiendo resultados sin bloquearse en espera de la finalización de cada tarea [7]. Para mantener un balance de carga adecuado, las búsquedas en hardware que exceden las 8000 posiciones expandidas pueden abortarse y reencolarse en software, permitiendo dividirlos en subproblemas más pequeños y redistribuirlos entre otros nodos SP [7].

6.3 Medición de eficiencia

Los experimentos de rendimiento con una configuración de un solo nodo SP (24 chips) mostraron eficiencias del 75 % en posiciones relativamente quietas y del 30 % en aquellas con tácticas profundas, reflejando la capacidad de paralelizar ramas homogéneas y de adaptarse a nodos muy desequilibrados [7]. Al escalar al sistema completo de 30 nodos, se estimó una eficiencia global de aproximadamente 12 % en posiciones tranquilas y 8 % en posiciones tácticas, debido principalmente a la sobrecarga de comunicación y a la variabilidad en el tamaño de las subramas [7].

7 Componentes de apoyo

7.1 Libro de aperturas

El libro de aperturas de *Deep Blue* fue ensamblado manualmente por el Gran Maestro Joel Benjamin, junto con los Grandmasters Nick De Firmian, John Fedoro-

wicz y Miguel Illescas, y contenía aproximadamente 4 000 posiciones seleccionadas según la experiencia práctica del sistema [7]. Cada posición del libro fue comprobada mediante ejecuciones nocturnas de *Deep Blue* para asegurar que las líneas propuestas resultaran razonables bajo el motor de búsqueda, priorizando aquellas aperturas en las que el sistema demostraba mayor robustez táctica [7]. Antes de cada encuentro, se elegía un repertorio específico en función de la situación del match y de la elección de color, incluyéndose un pequeño “override book” de última hora para correcciones de último minuto [7].

7.2 Extended Book

Cuando una posición no estaba cubierta por el libro principal, *Deep Blue* empleaba un “libro extendido” basado en un repositorio de cerca de 700 000 partidas de Grandes Maestros [7]. A cada jugada candidateada se le asignaba una bonificación escalar calculada a partir de la frecuencia de aparición en la base de datos, la fuerza de los jugadores que la emplearon, los resultados estadísticos y las anotaciones (marcas “!” o “?”), de manera no lineal y ponderada para reflejar consenso teórico de apertura [7]. En situaciones extremas, una bonificación superior a medio peón permitía ejecutar la jugada directamente sin activación de la búsqueda completa [7].

7.3 Bases de datos de finales

Para los finales, *Deep Blue* recurría a bases de datos de finales con todas las posiciones de hasta cinco piezas y casos seleccionados de seis piezas (por ejemplo, peones bloqueados), extraídas principalmente de Colecciones de Ken Thompson y contribuciones de Lewis Stiller [7]. Cada posición se indexaba como un bit (ganar o no perder), de modo que al alcanzarse durante la búsqueda se aplicaba inmediatamente un *cutoff* con valor teórico—alto orden para la victoria o empate, bajo orden para el desempate según evaluación estática—sin necesidad de desarrollar subárboles adicionales [7]. Estas bases residían localmente en cada nodo SP y en arreglos RAID compartidos, garantizando acceso rápido en tiempo de búsqueda [7].

7.4 Control de tiempo

El mecanismo de control de tiempo de *Deep Blue* definía dos objetivos temporales antes de cada movida: un tiempo “normal”, calculado como el tiempo restante hasta el próximo control dividido por los movimientos estimados, y un tiempo “pánico” equivalente a un tercio del tiempo restante [7]. Si al alcanzar el tiempo normal no se detectaban condiciones excepcionales, el sistema jugaba el mejor movimiento disponible; en caso de variación excesiva en el valor del movimiento (más de 15 centipawns) o estados de *fail-low/high*, la búsqueda continuaba hasta nueva resolución o hasta el tiempo pánico, circunstancia que solo ocurrió una vez en todo el match de 1997 [7].

8 Impacto y legado

8.1 Hito en IA y supercomputación

En mayo de 1997, *Deep Blue* se convirtió en el primer sistema informático capaz de derrotar a un campeón mundial de ajedrez bajo condiciones reglamentarias de torneo, venciendo a Garry Kasparov por $3\frac{1}{2}$ - $2\frac{1}{2}$ en Nueva York [1][5]. Este logro marcó un antes y un después en la historia de la inteligencia artificial y la supercomputación, pues demostró la viabilidad de arquitecturas masivamente paralelas y hardware especializado para resolver problemas de búsqueda combinatoria de gran magnitud [1]. La gran repercusión mediática y científica llevó a la concesión del Premio Fredkin por parte de Carnegie Mellon, dotado con 100 000 USD, además de los incentivos económicos compartidos con Kasparov y los desarrolladores de IBM [5][3].

8.2 Influencias posteriores

El enfoque de paralelismo masivo y procesamiento en silicio diseñado para *Deep Blue* inspiró posteriormente desarrollos en diversas áreas. En análisis financiero, se aplicaron técnicas semejantes para la valoración rápida de carteras y la simulación de escenarios de riesgo mediante computación distribuida [4]. En biología computacional, los métodos de búsqueda selectiva y extensiones fraccionarias se adaptaron a problemas de alineamiento de secuencias y predicción de pliegue de proteínas, donde la exploración de grandes espacios de soluciones es crítica [2]. Asimismo, la idea de “offloading” asíncrono a aceleradores especializados sentó las bases para el uso de GPUs y FPGAs en aprendizaje profundo y simulaciones científicas de alto rendimiento [2].

8.3 Curiosidades y datos interesantes

Un caso curioso del match de 1997 ocurrió en la cuarta partida, cuando *Deep Blue* ejecutó un movimiento poco intuitivo que Kasparov interpretó como “creatividad” de la máquina. Años después se reveló que dicho movimiento fue provocado por un error en el código de selección en un submódulo de evaluación, y no por intervención humana ni por un “insight” genuino del sistema [5][3]. Este episodio alimentó el debate sobre la transparencia de los sistemas de IA y la necesidad de auditorías de “caja blanca” en aplicaciones críticas.

9 Conclusiones

La experiencia de *Deep Blue* pone de manifiesto cómo la confluencia de tres líneas de innovación (hardware VLSI especializado, algoritmos de búsqueda selectiva y bases de datos inteligentes) permitió superar las barreras históricas entre el ajedrez humano y la computadora. En primer lugar, los chips VLSI diseñados ad hoc para generación de movimientos y evaluación en un ciclo de reloj demostraron que el procesamiento masivamente paralelo podía explotar la fuerza bruta sin sacrificar precisión táctica [7][15]. En segundo lugar, el algoritmo de “dual credit with delayed extensions” introdujo una búsqueda altamente no uniforme que adaptaba dinámicamente la profundidad según la complejidad de la posición, con extensiones fraccionarias que prevenían explosiones combinatorias y preservaban robustez frente a amenazas tácticas [13]. Por último, la integración de un libro principal, un “extended book” de 700 000 partidas y bases de finales con todos los casos de hasta cinco piezas proporcionó un conocimiento posicional sólido que complementó el poder de cómputo, reduciendo la dependencia en el cálculo exhaustivo en fases teóricamente bien entendidas [14][12].

Históricamente, la victoria de *Deep Blue* sobre Garry Kasparov en 1997 simboliza el tránsito de la IA simbólica y de fuerza bruta hacia sistemas híbridos que combinan aprendizaje experto con arquitecturas de alto rendimiento [17]. Este hito no sólo impulsó la investigación en supercomputación y en aceleradores especializados (preludiando el uso extensivo de GPUs y FPGAs en IA), sino que también abrió el camino para metodologías que hoy sustentan desde la biología computacional hasta el análisis financiero en tiempo real [18][16]. En suma, *Deep Blue* demostró que el equilibrio entre conocimiento experto, paralelismo extremo y algoritmos selectivos puede superar el brute force puro, marcando el umbral de la era moderna de la inteligencia artificial aplicada.

Referencias

- [1] May 11, 1997: Machine bests man in tournament-level chess match. *Wired*, May 1997.
- [2] The electronic holy war. *The New Yorker*, May 2006.
- [3] Did deep blue beat kasparov because of a system glitch? *Time*, April 2013.
- [4] Humans out-play an ai at texas hold 'em—for now. *Wired*, May 2015.
- [5] Deep blue (chess computer). [https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue_\(chess_computer\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_Blue_(chess_computer)), 2025. Accessed: 2025-05-04.
- [6] M Campbell, A Joseph Hoane, and Feng-hsiung Hsu. Search control methods in deep blue. In *AAAI Spring Symposium on Search Techniques for Problem Solving under Uncertainty and Incomplete Information*, pages 19–23, 1999.
- [7] Murray Campbell, A. Joseph Hoane Jr., and Feng hsiung Hsu. Deep blue. *Artificial Intelligence*, 134(1-2):57–83, 2002.
- [8] Feng hsiung Hsu, Thomas Anantharaman, and Murray Campbell. Chiptest: A vlsi move generator for chess. *Proceedings of the North American Computer Chess Championship*, pages 1–9, 1988.
- [9] Feng hsiung Hsu and Murray Campbell. Chiptest-m and the evolution to deep thought. *IEEE Computer*, 22(5):50–58, 1989.
- [10] Feng hsiung Hsu and Murray Campbell. Deep thought: A second-generation chess machine. *Artificial Intelligence*, 53(2–3):237–276, 1990.
- [11] Feng-hsiung Hsu. Ibm's deep blue chess grandmaster chips. *IEEE micro*, 19(2):70–81, 1999.
- [12] IBM IBM History. Deep blue – ibm, 2025. Improvements for rematch, databases and evaluation.
- [13] USC Illumin. Deep blue: The history and engineering behind computer chess, 2008. Selective vs brute-force search debate.
- [14] Mimuw. Deep blue – mimuw, 2002. Sec. 8.3: Endgame databases.
- [15] Phamoxtech. Ibm deep blue: The chess machine that beat a world champion, 2023. Hardware VLSI chips and architecture.
- [16] Chessprogramming Wiki. Deep blue – chessprogramming, 2025. Project origins and architecture.
- [17] Wikipedia. Deep Blue (chess computer), 2025. Design, hardware and software overview.
- [18] Wired. What deep blue tells us about ai in 2017. *Wired*, 2017.