

제 1 교시

국어 영역

성명

수험 번호

[1~3] 다음 글을 읽고 물음에 답하시오.

양자 정보학은 양자역학의 원리를 정보 처리에 적용하는 학문 분야로, 양자 컴퓨팅과 양자 암호학 등을 포함한다. 그중 양자 컴퓨팅은 기존 고전 컴퓨터의 물리적 한계를 극복할 수 있는 대안으로 주목받고 있다. 양자 컴퓨팅의 핵심은 정보의 기본 단위인 큐비트와 중첩 및 얽힘과 같은 양자역학적 특성을 활용한다는 점이다. 고전 컴퓨터의 정보 단위인 비트는 0 또는 1 중 하나의 값만을 가질 수 있는 반면, 양자 컴퓨터의 정보 단위인 큐비트는 0과 1의 상태가 동시에 존재하는 중첩 상태를 가질 수 있다. 이러한 중첩 상태는 수학적으로 $|\psi\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ 로 표현된다. 여기서 $|0\rangle$ 과 $|1\rangle$ 은 각각 기본 상태를 나타내며, α 와 β 는 복소수인 확률 진폭이다. 큐비트를 측정할 때 $|0\rangle$ 상태로 관측될 확률은 $|\alpha|^2$ 이고, $|1\rangle$ 상태로 관측될 확률은 $|\beta|^2$ 이다. 이때 $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ 이라는 정규화 조건을 만족해야 한다. 큐비트의 중첩 상태는 큐비트를 측정하기 전까지만 유지된다. 측정이 이루어지는 순간, 중첩 상태는 붕괴되어 $|0\rangle$ 또는 $|1\rangle$ 중 하나의 확정된 상태가 된다. 이 현상을 파동함수 붕괴라고 한다. 이는 양자역학의 기본 원리 중 하나로, 중첩 상태에 있던 큐비트가 고전적인 관측 가능한 상태로 전환되는 과정을 설명한다. 측정 결과는 확률적으로 결정되므로, 동일한 중첩 상태를 여러 번 측정하면 서로 다른 결과가 나올 수 있다. 이러한 측정과 파동함수 붕괴의 특성은 양자 정보 처리가 갖는 근본적인 특징이면서 동시에 제약 조건이기도 하다. 물리적으로 큐비트는 다양한 방식으로 구현될 수 있다. 대표적인 예로 전자의 스핀 상태를 이용한 '스핀 큐비트'가 있다. 전자는 스핀 업 또는 스핀 다운이라는 두 가지 고유 상태를 가질 수 있으며, 이를 각각 $|1\rangle$ 과 $|0\rangle$ 에 대응시킬 수 있다. 또한 광자의 편광 상태, 초전도 회로의 양자 상태, 이온의 에너지 준위 등 다양한 물리계가 큐비트로 활용될 수 있다. 각 방식은 결맞음 시간(중첩 상태가 유지되는 시간), 게이트 연산 속도, 확장성 등에서 서로 다른 장단점을 가진다. 양자 컴퓨터에서 정보 처리는 큐비트에 대한 양자 게이트 연산을 통해 이루어진다. 기본적인 양자 게이트로는 단일 큐비트에 작용하는 회전 연산과 두 개의 큐비트 사이에 작용하는 CNOT 연산이 있다. 회전 연산은 큐비트의 상태를 블로흐 구면 위에서 특정 축을 중심으로 회전시키는 효과를 내며, 이를 통해 중첩 상태를 조작할 수 있다. CNOT 연산은 제어 큐비트의 상태에 따라 '표적 큐비트(target qubit)'의 상태를 변화시키는 조건부 연산이다. 이 두 가지 기본 연산을 조합하면 모든 복잡한 양자 연산을 구현할 수 있음이 증명되어 있다. 양자 컴퓨팅의 가장 큰 강점 중 하나는 양자 병렬성이다. n 개의 큐비트로 구성된 시스템은 최대 2^n 개의 상태를 동시에

표현할 수 있다. 이러한 상태들에 단일 양자 연산을 적용하면, 2^n 개의 가능한 입력 조합에 대한 계산이 동시에 수행되는 효과가 있다. 예를 들어, 2개의 큐비트는 00, 01, 10, 11이라는 네 가지 상태의 중첩으로 존재할 수 있으며, 이에 양자 연산을 적용하면 네 가지 경우에 대한 계산이 동시에 이루어진다. 그러나 양자 병렬성이 항상 계산 속도 향상으로 직결되는 것은 아니다. 측정을 통해 얻을 수 있는 정보의 양은 제한되어 있기 때문이다. 양자 시스템을 측정하면 중첩 상태가 붕괴되어 하나의 고전적 상태만 관찰된다. 따라서 병렬 처리된 모든 계산 결과를 한 번에 추출할 수는 없다. 이 문제를 해결하기 위해 양자 알고리즘은 간섭과 확률 증폭과 같은 기법을 사용하여 원하는 결과를 높은 확률로 얻을 수 있도록 설계된다. 대표적인 예로 큰 수의 소인수분해를 효율적으로 수행하는 쇼어 알고리즘과 정렬되지 않은 데이터베이스에서 검색 속도를 높이는 그로버 알고리즘이 있다. 양자 컴퓨팅이 직면한 주요 과제 중 하나는 결맞음 깨짐이다. 큐비트는 주변 환경과의 상호작용에 매우 민감하여 중첩 상태를 쉽게 잃는다. 이러한 현상은 계산 오류를 유발하며, 특히 큐비트 수가 증가할수록 문제가 심각해진다. 이를 해결하기 위해 양자 오류 보정 기법이 연구되고 있으나, 실용적인 양자 컴퓨터 구현을 위해서는 여전히 많은 기술적 난관이 존재한다. 그럼에도 불구하고 양자 컴퓨팅은 특정 문제들에 대해 고전 컴퓨터가 넘을 수 없는 한계를 뛰어넘을 수 있는 잠재력을 갖고 있어, 미래 컴퓨팅 기술의 중요한 한 축으로 계속 발전하고 있다.

1. 윗글의 내용과 일치하지 않는 것은?

- ① 양자 컴퓨터의 정보 단위인 큐비트는 0과 1의 상태가 동시에 존재할 수 있다.
- ② 양자 컴퓨터에서 큐비트의 측정 결과는 확률적으로 결정된다.
- ③ 회전 연산과 CNOT 연산을 조합하면 모든 양자 연산을 구현할 수 있다.
- ④ 큐비트의 중첩 상태는 측정 후에도 일정 시간 동안 유지된다.
- ⑤ 큐비트는 스핀, 편광, 초전도 회로 등 다양한 물리계로 구현될 수 있다.

2. 윗글을 바탕으로 '양자 병렬성'에 대해 추론한 내용으로 적절하지 않은 것은?

- ① n 개의 큐비트 시스템은 최대 2^n 개의 상태를 동시에 표현할 수 있다.
- ② 양자 병렬성을 활용한 계산의 모든 결과를 한 번의 측정으로 추출할 수 있다.

- ③ 2개의 큐비트로 00, 01, 10, 11 네 가지 상태에 대한 연산을 동시에 수행할 수 있다.
- ④ 양자 알고리즘은 원하는 결과를 높은 확률로 얻기 위해 간섭과 확률 증폭 기법을 사용한다.
- ⑤ 소인수분해 문제나 데이터베이스 검색 문제에서 양자 병렬성의 이점을 활용할 수 있다.

3. 다음 <보기>는 세 개의 큐비트로 구성된 양자 시스템에 관한 설명이다. 밑글의 내용을 바탕으로 <보기>를 이해한 내용으로 적절하지 않은 것은? [3점]

—<보 기>—

세 개의 큐비트 A, B, C로 구성된 양자 시스템이 있다. 초기에 각 큐비트는 $|0\rangle$ 상태로 준비되었다. 먼저 큐비트 A에 회전 연산을 적용하여 $|0\rangle$ 과 $|1\rangle$ 의 균등한 중첩 상태($\alpha=\beta=1/\sqrt{2}$)로 만들었다. 그 후 큐비트 A를 제어 큐비트로, 큐비트 B를 표적 큐비트로 하는 CNOT 연산을 적용했다. 마지막으로 큐비트 B를 제어 큐비트로, 큐비트 C를 표적 큐비트로 하는 CNOT 연산을 적용했다.

- ① 초기 상태는 $|000\rangle$ 으로 표현할 수 있다.
- ② 첫 번째 회전 연산 후 큐비트 A의 상태는 $(1/\sqrt{2})|0\rangle + (1/\sqrt{2})|1\rangle$ 이 된다.
- ③ 두 번째 CNOT 연산 후 전체 시스템의 상태는 $(1/\sqrt{2})|000\rangle + (1/\sqrt{2})|111\rangle$ 이 된다.
- ④ 이 양자 시스템을 측정하면 항상 $|000\rangle$ 상태가 관측된다.
- ⑤ 이 과정을 통해 세 큐비트 간에 양자 얽힘 상태가 생성되었다.

4. 밑글에 제시된 양자 컴퓨팅의 원리를 바탕으로 <보기>의 문제 상황을 해결하고자 할 때, 적절하지 않은 것은?

—<보 기>—

연구자 A는 n 개의 입력 변수에 대한 함수 $f(x)$ 의 값을 계산하는 문제를 해결하고자 한다. 함수 $f(x)$ 는 입력값에 따라 계산 과정이 매우 복잡하지만, 특정 입력값 x_0 에 대해서만 $f(x_0)=1$ 이고 나머지 모든 입력값에 대해서는 $f(x)=0$ 인 특성을 가진다. 연구자 A는 이 특성을 활용하여 값이 1이 되는 입력값 x_0 를 찾고자 한다.

- ① 고전 컴퓨터를 사용할 경우, 최악의 시나리오에서는 2^n 개의 모든 가능한 입력값을 하나씩 시도해야 한다.
- ② 양자 컴퓨터의 병렬성을 활용하면 n 개의 큐비트로 2^n 개의 입력값에 대한 함수 계산을 동시에 수행할 수 있다.
- ③ 양자 컴퓨터를 사용하더라도 측정을 통해 한 번에 하나의 결과만 얻을 수 있으므로 문제 해결 속도는 향상되지 않는다.
- ④ 그로버 알고리즘과 같은 양자 알고리즘은 원하는 입력값 x_0 를 찾을 확률을 점진적으로 증폭시켜 효율적인 검색을 가능하게 한다.

- ⑤ 양자 컴퓨터를 이용한 이 문제의 해결에서 핵심 과정은 원하는 결과를 높은 확률로 측정할 수 있도록 양자 상태를 조작하는 것이다.

* 확인 사항

- 답안지의 해당란에 필요한 내용을 정확히 기입(표기)했는지 확인 하시오.

정답 및 해설

1. 정답: ④ [해설] 이 문항은 지문에 제시된 양자 컴퓨팅의 기본 개념과 특성에 대한 사실적 이해를 측정합니다. 지문의 셋째 문단에 따르면 "큐비트의 중첩 상태는 큐비트를 측정하기 전까지만 유지된다. 측정이 이루어지는 순간, 중첩 상태는 붕괴되어 $|0\rangle$ 또는 $|1\rangle$ 중 하나의 확정된 상태가 된다"라고 명시되어 있습니다. 따라서 측정 후에도 중첩 상태가 일정 시간 동안 유지된다는 ④번 선택지는 지문의 내용과 일치하지 않습니다. 다른 선택지들은 모두 지문의 내용과 일치합니다: ①은 둘째 문단, ②는 셋째 문단, ③은 다섯째 문단, ⑤는 넷째 문단에서 확인할 수 있습니다.

2. 정답: ② [해설] 이 문항은 지문에 제시된 양자 병렬성의 개념을 바탕으로 추론하는 능력을 평가합니다. 지문의 일곱째 문단에 따르면 "양자 시스템을 측정하면 중첩 상태가 붕괴되어 하나의 고전적 상태만 관찰된다. 따라서 병렬 처리된 모든 계산 결과를 한 번에 추출할 수는 없다"라고 명시되어 있습니다. 따라서 양자 병렬성을 활용한 계산의 모든 결과를 한 번의 측정으로 추출할 수 있다는 ②번 선택지는 지문의 내용과 상반됩니다. 다른 선택지들은 모두 지문의 내용과 일치하는 추론입니다: ①과 ③은 여섯째 문단, ④와 ⑤는 일곱째 문단에서 확인할 수 있습니다.

3. 정답: ④ [해설] 이 문항은 <보기>에 제시된 구체적인 양자 시스템의 동작을 지문의 내용을 바탕으로 이해하는 능력을 평가합니다. <보기>에 따르면 큐비트 A에 회전 연산을 적용하여 균등한 중첩 상태로 만든 후, 연속적으로 두 번의 CNOT 연산을 적용했습니다. 이 과정을 통해 $(1/\sqrt{2})|000\rangle + (1/\sqrt{2})|111\rangle$ 형태의 얽힘 상태가 생성됩니다. 이러한 상태에서 측정을 수행하면, 지문 셋째 문단에 설명된 대로 "측정 결과는 확률적으로 결정되므로" 50%의 확률로 $|000\rangle$ 상태가, 50%의 확률로 $|111\rangle$ 상태가 관측됩니다. 따라서 "항상 $|000\rangle$ 상태가 관측된다"는 ④번 선택지는 적절하지 않습니다. 다른 선택지들은 모두 적절합니다: ①은 초기 상태 설명과 일치하고, ②는 회전 연산의 결과로 적절하며, ③은 두 CNOT 연산 후의 최종 상태를 올바르게 기술하고 있습니다. ⑤는 최종 상태가 얽힘 상태임을 올바르게 인식한 것입니다.

4. 정답: ③ [해설] 이 문항은 지문에 제시된 양자 컴퓨팅의 원리를 <보기>의 문제 상황에 적용하는 능력을 평가합니다. 지문의 일곱째 문단에 따르면 양자 알고리즘은 간섭과 확률 증폭 같은 기법을 사용하여 원하는 결과를 높은 확률로 얻을 수 있도록 설계됩니다. 또한 그로버 알고리즘이 정렬되지 않은 데이터베이스에서 검색 속도를 높인다고 언급되어 있습니다. 따라서 "양자 컴퓨터를 사용하더라도 측정을 통해 한 번에 하나의 결과만 얻을 수 있으므로 문제 해결 속도는 향상되지 않는다"는 ③번 선택지

는 지문의 내용에 비추어 적절하지 않습니다. 다른 선택지들은 모두 적절합니다: ①은 고전 컴퓨터의 한계를 올바르게 설명하고 있고, ②는 양자 병렬성의 원리와 일치하며, ④와 ⑤는 지문에서 설명한 양자 알고리즘의 원리와 일관됩니다.