

퍼지 시그너처 집합을 이용한 마이크로어레이 데이터 검색

Microarray Data Retrieval Using Fuzzy Signature Sets

이선아 · 이건명* · 류근호

Sun A Lee, Keon Myung Lee and Keun Ho Ryu

충북대학교 전자정보대학 컴퓨터공학부

요 약

마이크로어레이 데이터는 수천가지 유전자의 발현정보를 포함할 수 있으며, 여기에서 의미있는 패턴을 추출하여 추가적인 분석을 위한 목적으로 활용되고 있다. 다수의 샘플 또는 실험에 대해서 마이크로어레이 데이터가 수집된 경우에 분석자가 관심을 갖는 유전자들이나 샘플들을 효과적으로 검색하는 것이 필요한 경우가 있다. 이 논문에서는 단순한 조건뿐만 아니라 복잡한 조건을 정의하여 원하는 특성을 만족하는 유전자나 샘플을 추출하는 방법으로 퍼지 시그너처 집합을 활용하는 방법을 제안한다. 퍼지 시그너처는 벡터값을 값을 갖는 퍼지 집합을 확장한 것으로, 벡터의 각 요소가 다시 벡터가 되는 것을 허용하는 재귀적인 구조이다. 퍼지 시그너처 집합은 단말 원소가 구간 $[0,1]$ 사이에서 정의된 퍼지집합이라는 것을 제외하면 퍼지 시그너처와 같은 구조를 가진다. 이 논문에서는 각 내부 노드에 대해서 명시적으로 결합 연산자를 지정하도록 하고, 결합 연산을 위해 비교연산자를 사용할 수 있도록 확장한 퍼지 시그너처 집합을 소개한다. 또한 확장된 퍼지 시그너처 집합을 마이크로어레이 데이터 검색을 위해 사용하는 방법과 이를 사용한 예를 보인다.

키워드 : 퍼지패턴매칭, 마이크로어레이, 데이터분석, 바이오인포매틱스

Abstract

Microarray data sets could contain thousands of gene expression levels and have been considered as an important source from which meaningful patterns could be extracted for further analysis in biological studies. It is sometimes necessary to retrieve out specific genes or samples of analyst's interest in an effective way. This paper is concerned with a method to make use of fuzzy signature set in order to filter out genes or samples which satisfy complicated constraints as well as simple ones. Fuzzy signatures are an extension of vector valued fuzzy sets, in which elements of the vector are allowed to have a vector. Fuzzy signature sets are similar to fuzzy signatures except that their leaf elements are fuzzy sets defined on the interval $[0,1]$. This paper introduces an extension of fuzzy signature sets which specifies aggregation operators at each internal node and comparison operators for aggregation. It also shows how to use the extended fuzzy signature sets in microarray data retrieval and some examples of its usage.

Key Words : fuzzy pattern matching, microarray, data analysis, bioinformatics

1. 서 론

분자생물학 기술과 정보 기술의 발전으로 미시적 생명현상을 규명하기 위한 연구가 활발히 수행되고 있다. 분자생물학의 도구로서 유전자의 발현 수준을 정량적으로 측정하는 방법으로 마이크로어레이가 최근 각광받고 있다. 마이크로어레이는 분자생물학 분야의 대표적인 고효율 분석기법의 하나로, 유리, 필터, 또는 실리콘 판 위에 유전자를 검출할 수 있는 많은 수의 프로브를 붙여 놓거나 합성하여 놓아서, 동시에 많은 유전자에 대한 발현량을 측정할 수 있도록 한 것이다. 마이크로어레이는 동시에 많은 양의 데이터를 생성하기 때문에, 이에 대한 효과적인 분석기술이 필요하다.

퍼지 시그너처는 Koczy 등[1]에 의해 제안된 벡터값을 갖는 퍼지집합(vector valued fuzzy set)을 일반화한 것으로,

로, 벡터의 각 요소는 다시 벡터가 되는 것을 허용하는 구조이다. 퍼지 시그너처는 계층적으로 구조화된 벡터값을 갖는 퍼지 집합과, 동질적인 필요가 없는 계층적으로 조직화된 결합 함수를 사용하여 등성등성하고 계층적으로 연관된 데이터를 모델링하는데 사용될 수 있다.

이 논문에서는 분석자가 원하는 패턴을 갖는 유전자나 샘플의 집단을 효과적으로 검색하기 위한 방법으로, 퍼지 시그너처를 활용하는 방법을 제안한다. 이를 위해 기존의 퍼지 시그너처 집합을 확장하여 내부 노드별로 결합연산자를 명시적으로 지정하고, 결합을 위해 비교연산자를 사용할 수 있도록 확장한 퍼지 시그너처 집합을 제안한다. 또한 이를 이용한 마이크로어레이 데이터를 융통성있게 검색할 수 있는 방법을 제시한다.

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 2절에서는 퍼지 시그너처와 퍼지 시그너처 집합에 대한 전반적인 소개를 하고, 3절에서 확장된 퍼지 시그너처 집합을 제안한다. 4절에서는 확장된 퍼지 시그너처 집합을 이용하여 마이크로어레이 데이터를 검색하는 방법 및 예를 보인다. 끝으로 5절에서는 결론을 맺는다.

접수일자 : 2009년 4월 6일

완료일자 : 2009년 7월 2일

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 PT-ERC를 통해 수행된 연구임

2. 퍼지 시그너처와 퍼지 시그너처 집합

Goguen은 Zadeh에 의해 제안된 퍼지집합의 원래 개념을 일반화하여 L-퍼지집합을 제안하였다.[2] L-퍼지집합에서는 소속의 정도값이 임의의 속(lattice) L 의 원소가 되는 것을 허용한다. L-퍼지집합 A 는 정의구역 X 에 대해 공변역인 속 L 에 대해 다음과 같이 정의된다.

$$A: x \rightarrow L, \forall x \in X$$

Koczy는 L-퍼지집합의 특별한 형태로서, L 이 n -차원 퍼지벡터의 속인, 즉 $L = [0,1]^n$ 인 벡터값을 갖는 퍼지집합을 제안하였다.[2] 벡터값을 갖는 퍼지집합 A 은 다음과 같이 정의된다.

$$A: x \rightarrow L, \forall x \in X, L = [0,1]^n$$

벡터값을 갖는 퍼지집합은 X 의 각 원소에 대한 정보를 기술하기 위해 하나의 정도값 대신에, 정량화된 특징값의 집합을 사용한다.

퍼지 시그너처는 벡터값을 갖는 퍼지집합을 일반화한 것으로, 각 벡터의 요소가 다른 중첩된 벡터가 될 수 있도록 한다. 임의의 대상 집합 X 에 대해 정의된 퍼지 시그너처 A 는 다음과 같은 재귀적인 형태로 정의된다.

$$A: X \rightarrow [a_i]_{i=1}^k$$

$$여기에서 a_i = \begin{cases} [a_{ij}]_{j=1}^{k_i} & \text{if } a_i \text{ is a branch} \\ [0,1] & \text{if } a_i \text{ is a leaf} \end{cases}$$

다음은 퍼지 시그너처의 예를 보인 것이다. 기본 구조의 벡터 $A = [a_1, a_2, a_3, a_4]^T$ 가 주어질 때, $a_1 = [a_{11}, a_{12}]^T$, $a_2 = [a_{21}, a_{22}, a_{23}]^T$, $a_{23} = [a_{231}, a_{232}]^T$ 이면, 전체적인 시그너처의 구조는 아래와 같다.

$$A = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{11} \\ a_{12} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} a_{21} \\ a_{22} \\ \begin{bmatrix} a_{231} \\ a_{232} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \\ a_3 \\ a_4 \end{bmatrix}$$

퍼지 시그너처는 트리 형태로 나타낼 수 있는데, (그림 1)은 위의 퍼지 시그너처 A 를 나타낸 것이다.

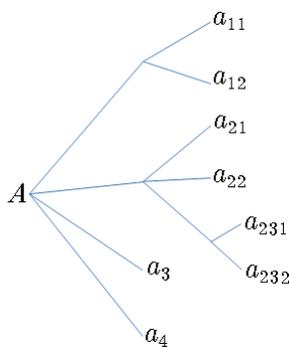


그림 1. 트리 구조로 표현한 퍼지 시그너처의 예
Figure 1. The tree structure of an example of fuzzy signature

퍼지 시그너처는 낮은 수준의 변수 값들이 높은 수준의 값을 결정하는 것으로 볼 수 있기 때문에, 일부 요소들이 서로 관련된 다차원 퍼지 데이터를 표현하는 것으로 간주할 수도 있다. 이러한 특성 덕분에 복잡하고 서로 연관된 요소들이 표현되고, 간단한 형태로 통합될 수 있는 것이 퍼지 시그너처의 장점이다. 또한 일부 요소가 결손된 데이터간의 비교 및 통합이 퍼지 시그너처에서는 가능하다.

퍼지 시그너처 집합[2]은 요소에 값을 갖는 변수 퍼지 시그너처와 비슷하지만, 단말 노드에 값 대신에 소속함수가 지정되어 있는 점에서 다르다. (그림 2)는 퍼지 시그너처 집합의 구조를 보인 것이다.

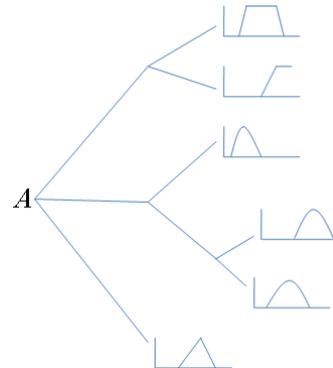


그림 2. 트리 구조로 표현한 퍼지 시그너처 집합의 예
Figure 2. The tree structure of an example of fuzzy signature set

퍼지 시그너처의 단말 노드의 값을 구간 $[0,1]$ 상의 값을 갖도록 되어 있으며, 단말 노드의 값들은 부모 노드로 올라가면서 하나의 값으로 통합된다. 이때 분기가 일어나는 각 부모 노드에 대해서 어떤 종류의 결합(aggregation) 연산자를 사용할지 지정할 수 있다. 결합 연산자는 여러 퍼지 값들로부터 하나의 퍼지값을 만들어 내는 역할을 한다. 예를 들면, T-norm, T-conorm, 보상(compensatory) 연산자 등을 분기 노드에 지정할 수 있다. 퍼지 시그너처를 사용할 때 어떤 결합연산자를 사용하는 가에 따라 최종 결과에 많은 영향을 미치기 때문에, 결합 연산자의 결정에 대한 연구도 수행되어 왔다[3,4]. 대표적인 결합 연산자의 하나로 다음과 같이 정의되는 WRAO (weighted relevance aggregation)[5]가 있다.

$$@ (x_1, x_2, \dots, x_n; w_1, w_2, \dots, w_n) = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (w_i x_i)^p \right\}^{\frac{1}{p}}$$

이 연산자는 결합되는 요소의 중요도를 고려하기 위해 가중치 w_1, w_2, \dots, w_n 을 고려하는 하는 것으로, p 값에 따라 특성이 다음과 같이 결정된다.[3]

- if $p \rightarrow -\infty$, minimum 연산자
- if $p = -1$, harmonic mean 연산자
- if $p \rightarrow 0$, geometric mean 연산자
- if $p = 1$, arithmetic mean 연산자
- if $p \rightarrow \infty$, maximum 연산자

다른 결합연산자로 Yager의 OWA 연산자[7]를 확장한 아래와 같은 GOWA(generalized order weighted aggregation) 연산자가 제안되었다[3].

$$M(x_1, x_2, \dots, x_n) = \left(\sum_{i=1}^n w_i y_i^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

여기에서 $p \in [-\infty, \infty]$ 이고, y_i 는 입력 x_1, x_2, \dots, x_n 중에서 i 번째 큰 값을 나타내고, 가중치 w_i 는 다음의 성질을 만족하는 것이다.

1) $w_i \in [0, 1]$

2) $\sum_{i=1}^n w_i = 1$

Mendis 등[3]은 퍼지 시그너처에 대한 계층적인 OWA와 WRAO 연산자에 대한 비교연구와 함께, 이들 연산자에 대한 가중치를 실제 데이터들로부터 학습하는 방법을 제안하였다.

퍼지 시그너처는 상황에 따라 다르게 만들어 질 수 있기 때문에, 이들을 서로 비교하기 위해서는 구조를 변경하는 연산자를 필요로 한다. 이를 위한 연산자로 결합 연산자를 사용할 수 있다. 아래와 같은 퍼지 시그너처 A 에 대해서 t-norm 연산자의 하나인 minimum 연산자를 사용하여 하위의 값을 결합하는 경우를 보자.

$$A = \begin{bmatrix} [0.4] \\ [0.3] \\ [0.2] \\ 0.6 \\ [0.5] \\ [0.7] \\ 0.6 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

깊이 2가 되는 퍼지 시그너처로 결합 연산자를 적용하면 아래와 같이 된다.

$$A' = \begin{bmatrix} [0.4] \\ [0.3] \\ [0.2] \\ 0.6 \\ [0.5] \\ 0.6 \\ 0.5 \end{bmatrix}$$

깊이 1인 퍼지 시그너처와, 깊이 0인 퍼지 시그너처를 구하면 다음과 같이 된다.

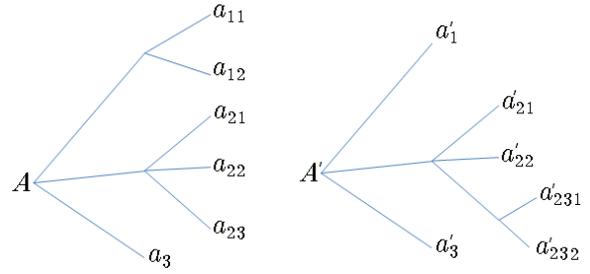
$$A'' = \begin{bmatrix} 0.3 \\ 0.2 \\ 0.6 \\ 0.5 \end{bmatrix} \quad A''' = [0.2]$$

Tamas 등[2]은 Mamdani 퍼지추론 규칙을 확장하여, 조건부의 퍼지값이 퍼지 시그너처 집합을 가질 수 있도록 하고 이에 대한 추론 방법을 제안하였다. 이 방법에서 사용하는 퍼지 규칙은 아래와 같은데, 조건부의 A_i 는 퍼지 시그너처 집합이나 퍼지 집합이 될 수 있도록 하고, 결론부의 B_i 는 일반 Mamdani 퍼지 규칙에서와 같이 퍼지 집합이다.

- $R_1: \text{If } x \text{ is } A_1, \text{ then } y \text{ is } B_1$
- ⋮
- $R_i: \text{If } x \text{ is } A_i, \text{ then } y \text{ is } B_i$
- ⋮
- $R_r: \text{If } x \text{ is } A_r, \text{ then } y \text{ is } B_r$

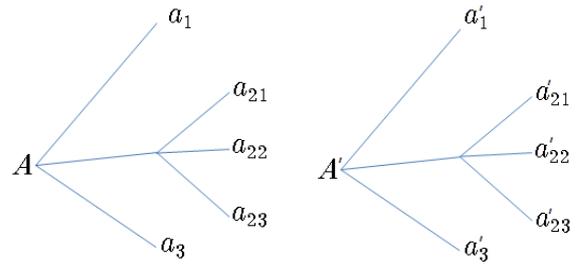
추론을 위한 입력으로 들어오는 값은 퍼지 싱글톤 값이나 퍼지집합, 또는 퍼지 시그너처가 될 수 있다. 여기에서

조건부와 입력에서 사용되는 퍼지집합, 퍼지 싱글톤값, 퍼지 시그너처는 모두 구간 $[0, 1]$ 에서 정의되는 것을 전제로 한다. 이때 입력과 규칙의 조건부의 구조가 일치하지 않는 경우에는, 이들 구조에서 공통으로 포함하게 되는 구조의 최하위 노드까지 각 시그너처의 구조를 각 그너처의 사용하여 축소시켜서 비교하게 용하여 (그림 3)과 같이 같은 구조에 대해서 속성값의 부재 등으로 인해서 주어지는 퍼지 시그너처가 서로 다른 경우에는 가장 근접한 공통의 부모를 갖도록 결합연산자를 적용하여 각 시그너처를 (그림 4)와 같이 변환한다.



(a) 조건부 퍼지 시그너처 (b) 입력 퍼지 시그너처

그림 3. 조건부 및 입력 퍼지 시그너처
Figure 3. Condition and input fuzzy signatures



(a) 조건부 퍼지 시그너처 (b) 입력 퍼지 시그너처

그림 4. 변환된 조건부 및 입력 퍼지 시그너처
Figure 4. Transformed condition and input fuzzy signatures

이들의 방법에서는 이와 같이 변화함으로써, 퍼지 시그너처 구조로 표현된 규칙의 조건부에 대한 퍼지 시그너처의 만족정도를 계산할 때, 퍼지 시그너처에 결손(missing)된 요소가 있을 지라도 계산을 할 수 있도록 하였다. 만족정도의 값에 따라 최종 값을 결정하는 것은 Mamdani 추론방법과 동일한 방법을 사용한다.

퍼지 시그너처는 다차원 퍼지 데이터를 표현하는 여러 응용에 시도되고 있다. 퍼지 시그너처를 사용하는 퍼지규칙 기반 응용[2], 의료 진단 등을 위한 의사결정 응용[3], 데이터 마이닝[9] 등이 대표적인 응용 가능한 사례이다.

3. 확장된 퍼지 시그너처 집합

기존의 퍼지 시그너처 집합에서는 고려되지 않은 확장 가능한 요소들이 있다. 우선, 기존 퍼지 시그너처 집합에서는 구조적인 융통성을 최대한 허용하고 있지만, 결합 연산자에 대해서는 부수적인 것으로 전체 시그너처에 대해서 적용되는 하나의 연산자를 전제한다. 그렇지만 하나의 대상을

기술하는 속성의 특성이 서로 다르기 때문에, 사용되는 결합 연산자에 대한 융통성을 부여하는 것이 바람직하다. 이에 따라서 퍼지 시그너처 집합의 기술에 있어서 각 노드에 대해서 결합 연산자를 명시적으로 기술하는 것이 요구된다.

퍼지 집합은 하나의 속성 또는 개체에 대한 퍼지 제약 (fuzzy constraint)을 나타내는 효과적인 방법이기도 하지만, 속성값 사이나 개체 사이의 퍼지 제약조건을 나타낼 수 없다. 마이크로어레이 분석에서와 같이 여러 속성값을 비교하는 경우에는 속성값 간의 제약조건을 표현할 수 있으면 유용하다. 따라서 퍼지 시그너처 집합의 노드에 결합연산자 뿐만 아니라 비교연산을 할 수 있는 퍼지 비교 연산자를 퍼지 시그너처 집합에 허용할 수 있도록 확장할 수 있다.

따라서 기존의 퍼지 시그너처 집합을 비단말 노드에 결합 연산자를 명시적으로 지정하고, 두 값을 비교할 수 있도록 확장한 퍼지 시그너처 집합 S 를 다음과 같이 정의한다.

$$S: X \rightarrow [s_i]_{i=1}^k$$

$$s_i = \begin{cases} [\textcircled{ij} s_{ij}]_{j=1}^{k_i} & \text{if } s_i \text{ is a branch} \\ [a_i : \mu_i] & \text{if } a_i \text{ is a leaf} \end{cases}$$

여기에서 a_i 는 특정 속성 이름이고, μ_i 는 a_i 에 대해 정의된 소속함수를 나타낸다. \textcircled{ij} 에는 결합 연산자나 비교 연산자가 위치할 수 있다. \textcircled{ij} 가 임의의 결합 연산자인 경우에는 아래 노드에서 계산된 결과를 연산자에 따라 결합하는 역할을 한다. \textcircled{ij} 가 비교연산자인 경우는 자손 노드로 2개를 가지며, 아래 노드에서 전달된 값의 차이를 계산하고, 차이값에 대해서 정의된 비교 연산에 대한 만족정도를 나타내는 소속함수에 대한 만족정도를 계산하는 역할을 한다. (그림 5)는 비교 연산자 $b < a$ 에 대한 퍼지 집합을 나타내는 소속함수 $\mu_{LessThan}(a-b)$ 의 예를 보인 것 대해서이 비교 연산자에 대한 만족정도는 $a-b$ 한 값의 $\mu_{LessThan}()$ 에 대한 만족정도를 의미한다.

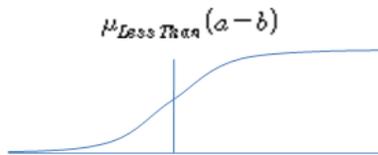


그림 5. 비교 연산자 ($b < a$)에 대한 퍼지 집합
Figure 5. Fuzzy set $\mu_{LessThan}(a-b)$ for a comparison operator ($b < a$)

4. 확장된 퍼지 시그너처 집합을 이용한 마이크로어레이 검색

마이크로어레이 데이터에서 특정 패턴을 만족하는 유전자나 샘플을 추출할 때, 유전자의 발현정도에 대한 제약조건을 기술할 때, 퍼지 시그너처의 집합을 이용하면 융통성 있는 패턴을 기술할 수 있다. 제약 속성에 대한 소속함수에 대한 발현정도값의 만족정도를 계산하고, 시그너처 집합의 트리를 따라 올라가면서, 최종적인 만족정도를 계산하여, 지정한 임계값 이상의 만족정도를 갖는 대상을 검색의 결과로 제공한다.

마이크로어레이 데이터 검색에서는 발현값 간의 대소비교를 하는 패턴도 유용하게 활용될 수 있다. 예를 들면, 특

정 유전자의 발현정도가 하나의 샘플에서 다른 샘플에서 보다 높아야 한다면, 아니면 어떤 유전자의 발현정도가 다른 유전자의 발현정도보다 낮아야 한다면의 검색 제약조건을 활용할 수 있으면 유용하다. 확장된 퍼지 시그너처 집합을 마이크로어레이 데이터의 추출을 위해 사용할 때, 아래의 퍼지 시그너처 집합의 각 요소에 대응하는 마이크로어레이 요소는 다음과 같다.

$$s_i = \begin{cases} [\textcircled{ij} s_{ij}]_{j=1}^{k_i} & \text{if } s_i \text{ is a branch} \\ [a_i : \mu_i] & \text{if } a_i \text{ is a leaf} \end{cases}$$

여기에서 a_i 는 특정 샘플이나 유전자를 가리키는 속성 이름이고, μ_i 는 a_i 에 정의된 소속함수를 나타낸다. \textcircled{ij} 에는 결합 연산자나 비교 연산자가 위치할 수 있다. 발현정도를 비교하는 비교연산인 경우에는 단말노드에 만족정도가 항상 1인 소속함수를 지정할 수도 있지만, 지정할 필요가 없다.

다음의 퍼지 시그너처 집합을 이용하여 마이크로어레이 데이터로부터 유전자 g_1 의 발현정도가 높거나(μ_{high}) 유전자 g_2 의 발현정도가 높으면서(μ_{high}), 유전자 g_3 의 발현정도는 낮으면서(μ_{low}) g_4 의 발현정도는 높거나(μ_{high}) 아니면 유전자 g_3 의 발현정도는 높으면서(μ_{high}) g_4 의 발현정도는 낮으면서(μ_{low}), 유전자 g_5 의 발현정도가 g_6 의 것보다 낮은 $\mu_{lessThan}$ 샘플을 검색하기 위한 구조를 나타낸 것이다.

$$(\textcircled{\min}(\textcircled{\max}(g_1 : \mu_{high}, g_2 : \mu_{high}),$$

$$(\textcircled{\max}(\textcircled{\min}(g_3 : \mu_{low}, g_4 : \mu_{high}), (\textcircled{\min}(g_3 : \mu_{high}, g_4 : \mu_{low}))),$$

$$\textcircled{\lessThan}(g_5, g_6))$$

(그림 6)는 위의 마이크로어레이 데이터에서 샘플 검색을 위한 퍼지 시그너처 집합을 트리형태로 보인 것이다.

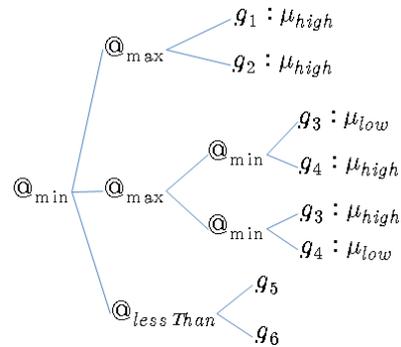


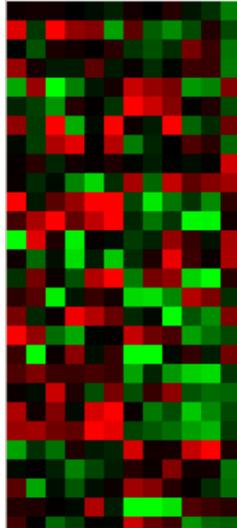
그림 6. 마이크로어레이 검색을 위한 퍼지 시그너처 집합의 예
An example of fuzzy signature set for microarray data retrieval

(그림 7)은 실제 마이크로어레이 데이터에 대해서 퍼지 시그너처 집합을 이용하여 특정 조건을 만족하는 유전자의 집합을 추출한 예를 보인 것이다. (그림 7(a))은 주어진 마이크로어레이 데이터의 일부를 보인 것이다. (그림 7(b))는 샘플들에 대해서 (그림 6)와 같은 구조를 가지는 아래와 같은 퍼지 시그너처 집합에 대한 제약조건을 만족하는 유전자를 추출하여 보인 것이다.

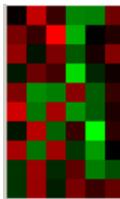
$$(\textcircled{\min}(\textcircled{\max}(s_1 : \mu_{high}, s_2 : \mu_{high}),$$

$$(\textcircled{\max}(\textcircled{\min}(s_3 : \mu_{low}, s_4 : \mu_{high}), (\textcircled{\min}(s_3 : \mu_{high}, s_4 : \mu_{low}))),$$

$$\textcircled{\lessThan}(s_5, s_6))$$



(a) 대상 마이크로어레이 데이터 일부



(b) 퍼지 시그너처에 의해 추출된 마이크로어레이

그림 7. 퍼지 시그너처 집합 기반 마이크로어레이 데이터 검색의 예

Figure 7. An example of microarray data retrieval using a fuzzy signature set

5. 결 론

마이크로어레이는 대량의 데이터를 생산해내기 때문에, 이들로 의미있는 정보를 추출하는 것이 생명정보학의 주요 이슈중의 하나이다. 마이크로어레이 데이터로부터 관심있는 패턴을 만족하는 부분집합을 추출하는 것도 전처리 작업에서 많이 필요한 일이다. 이 논문에서는 대량의 마이크로어레이 데이터에 대한 효과적인 검색을 위해 퍼지 시그너처 집합을 활용하는 방법을 제안하였다. 이를 위해 먼저 기존의 퍼지 시그너처 집합을 각 내부 노드에 대한 결합연산자를 명시적으로 지정하고, 결합을 위한 비교연산자를 사용하도록 확장하여 정의하였다. 또한 제안된 방법을 구현하여 실제 데이터에 적용한 예를 보였다. 제안한 방법은 마이크로어레이 데이터 분석에서 분석자의 직관에 의한 분석을 효과적으로 지원할 수 있을 것이다. 또한 퍼지 소속함수를 사용하기 때문에 융통성있는 검색이 가능한 장점이 있다.

참 고 문 헌

- [1] L. T. Koczy, T. Vamos, G. Biro, Fuzzy Signatures, *Proc. of EUROFUSE-SIC'99*, pp.210-217, 1999.
- [2] K. Tamas, L. T. Koczy, Mamdani-type inference

in Fuzzy Signature based Rule Bases, *Proc. of the 8th Int. Symp. of Hugarian Researchers on Computational Intelligence and Informatics*, pp.513-525, 2007.

- [3] B.S.U. Mendis, T.D. Gedeon, Aggregation Selection for Hierarchical Fuzzy Signatures: A Comparison of Hierarchical OWA and WRAO, *Proc. of IPMU'08*, pp.1376-1383, 2008.
- [4] K. W. Wong, T. D. Gedeon, L. T. Koczy, Fuzzy Signature and Cognitive Modeling for Complex Decision Model, *Theoretical Advances and Applications of Fuzzy Logic, ASCA2*, pp.380-389, 2007.
- [5] B.S.U. Mendis, T. D. Gedeon, J. Botzheim, L.T. Koczy, Generalized Weighted Relevance Aggregation Operators For Hierarchical Fuzzy Signatures, *Proc. of Int. Conf. on Computational Intelligence for Modeling Control and Automation*, 2006.
- [6] K. W. Wong, A. Chong, T. D. Gedeon, L. T. Koczy, T. Vamos, Hierarchical Fuzzy Signature Structure for Complex Structured Data, *Proc. of Int. Symp. on Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, pp.105-109, 2003.
- [7] R. Yager, On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making, *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.18, No.1, pp.183-190, 1988.
- [8] D. Filev, R. Yager, On the issue of objectioning OWA operator weights, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.94, No.2, pp.157-169, 1998.
- [9] T. Vamos, L.T. Koczy, G. Biro, Fuzzy signature in data mining, *Proc. of IFSA World Congress and 20th NAIPS Int. Conf.*, pp.2842-2846, 2001.

저 자 소 개

이선아(Sun A Lee)

15권 3호 참조

이건명(Keon Myung Lee)

15권 3호 참조

E-mail : kmlee@cbnu.ac.kr

류근호(Keun Ho Ryu)

충북대학교 전자정보대학 컴퓨터공학전공 교수

관심분야 : 데이터베이스, 바이오인포매틱스