

Formalismo adaptativo aplicado ao reconhecimento de linguagem natural

João JOSÉ NETO

Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo

Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais

Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, n. 158 – Cidade Universitária – 05508-900 – S. Paulo - SP

joão.jose@poli.usp.br

Miryam de MORAES

Escola Politécnica da Universidade de S. Paulo

Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais

Av. Prof. Luciano Gualberto, trav. 3, n. 158 – Cidade Universitária – 05508-900 – S. Paulo - SP

mmoraes@pcs.usp.br

RESUMO

Neste trabalho é proposto o uso de formalismos adaptativos como alternativa para a definição de linguagens naturais, cuja inerente complexidade, presente em especial nas ambigüidades de suas gramáticas e no não-determinismo de seus reconhecedores, dificulta sobremaneira sua formalização e seu processamento. Com os formalismos adaptativos, pode ser evitada ou mesmo eliminada uma boa parte da complexidade encontrada nos reconhecedores e processadores usuais de linguagens naturais, propiciando a obtenção de processadores mais simples, rápidos e compactos.

Palavras-chave: formalismos adaptativos, autômatos adaptativos, reconhecimento sintático de linguagem natural.

1. OBJETIVOS

Este trabalho tem como principal objetivo mostrar o potencial e a aplicabilidade de formalismos adaptativos - em particular, dos autômatos adaptativos - para a resolução de alguns dos problemas tipicamente encontrados na representação e no processamento de linguagens naturais.

Para tanto, será utilizado um grupo de exemplos ilustrativos dos principais problemas encontrados, e delineado um método aplicável ao tratamento mais geral dos problemas em questão, com o auxílio dos formalismos adaptativos.

Da análise de tal método e da observação do seu comportamento nos exemplos ilustrativos, será feita uma pequena avaliação informal da proposta, e indicados os principais problemas encontrados, sendo finalmente discutidas alternativas para a resolução das principais dificuldades apontadas.

Embora os exemplos utilizados neste trabalho tenham sido inspirados em um subconjunto muito restrito da língua portuguesa, eles são significativos para o estudo a que nos propomos, dada a extensiva incidência, na linguagem simplificada escolhida, de não-determinismos e ambigüidades, representativos dos problemas mencionados, que são, na prática, profusamente enfrentados no processamento das linguagens naturais.

2. TRATAMENTO SINTÁTICO DE LÍNGUAS NATURAIS

Um dos problemas mais importantes, usualmente encontrados no processamento de linguagens naturais, corresponde à dificuldade de expressar, através de um formalismo legível e expressivo, as complexas nuances estruturais sempre presentes nas linguagens naturais [5].

O maior desafio consiste em estabelecer uma forma simples e clara para definir as construções lingüísticas de maneira fácil e inteligível, sem lançar mão de mecanismos meta-lingüísticos de difícil interpretação.

Uma prática, extensivamente utilizada no processamento de linguagens de programação, pode ser empregada, no caso, para simplificar a tarefa de representação das linguagens naturais.

Trata-se de efetuar uma redução inicial da complexidade da linguagem que se deseja definir, através da elaboração de uma aproximação livre de contexto da mesma.

Esta técnica é bastante conveniente na prática, uma vez que, para linguagens livres de contexto, estão disponíveis inúmeras técnicas simples e eficientes de reconhecimento e de análise.

Através da eliminação dos aspectos mais complexos da linguagem original, tais como ambigüidades e dependências de contexto, pode-se obter uma boa aproximação da linguagem natural, que represente, de forma simples, mas com uma fidelidade aceitável, todos os seus aspectos sintáticos mais importantes.

A aproximação assim obtida pode ser então tratada através de métodos simples, usualmente empregados no tratamento de linguagens de menor complexidade.

Aplicado e explorado ao limite este recurso, a descrição aproximada da linguagem pode ser então externamente complementada por intermédio da inclusão de recursos adicionais convenientes.

Tais acréscimos devem responsabilizar-se pelo tratamento de todos os aspectos da linguagem original que continuarem ausentes na versão final da aproximação livre de contexto empregada.

Adotou-se, para a descrição da sintaxe desta simplificação da linguagem natural, a notação de Wirth, uma meta-linguagem apropriada para a elaboração de descrições gramaticais livres de contexto.

Uma grande vantagem desta notação é que ela permite a obtenção direta, a partir da gramática, de reconhecedores sintáticos muito eficientes, os quais podem ser facilmente gerados na forma de autômatos de pilha estruturados.

Para representar os aspectos mais complexos da linguagem, optamos pelo uso dos recursos proporcionados pelos formalismos adaptativos [1,3], os quais, como foi mencionado, apresentam poder de representação equivalente ao da Máquina de Turing.

Pode-se então construir um reconhecedor para a linguagem desejada na forma de um autômato adaptativo, empregando, como formalismo não-adaptativo subjacente, o autômato de pilha estruturado.

O método sugerido neste artigo explora as propriedades dos autômatos adaptativos para a elaboração de reconhecedores cuja arquitetura representa, através de estruturas adaptativas apropriadas, dois importantes aspectos sempre presentes no tratamento das linguagens naturais: o não-determinismo e a ambigüidade sintática.

3. NÃO-DETERMINISMOS

Nesta publicação são considerados dois aspectos, ligados à complexidade sintática da linguagem natural: os não-determinismos e as ambigüidades sintáticas.

Os não-determinismos ocorrem sempre que duas ou mais construções sintáticas que possam ocorrer em um determinado ponto das sentenças da linguagem, apresentem prefixo comum.

Na prática, muitas situações de não-determinismo costumam ser resolvidas de antemão durante a construção do reconhecedor, criando-se autômatos em que são fatorados os prefixos comuns, de forma que não haja dúvidas a respeito de qual seja a construção sintática em análise a cada instante do reconhecimento.

No entanto, a eliminação dos não-determinismos nem sempre é viável a baixo custo, principalmente quando as construções sintáticas envolvidas não correspondem a linguagens regulares.

Nessas situações, torna-se às vezes conveniente não eliminar mas conviver com os não-determinismos remanescentes, quer por razões econômicas, quer por questões de clareza.

De qualquer maneira, conviver com não-determinismos implica em conviver com algoritmos que operem por tentativa e erro, o que, como se sabe, costuma apresentar um desempenho sofrível, por causa da sua natureza combinatória.

Nesses casos, eliminar o não-determinismo costuma levar à obtenção de autômatos com um grande número de estados e transições, cuja estrutura nem sempre permite visualizar claramente a linguagem representada.

5. AMBIGÜIDADES

Ambigüidades são fenômenos lingüísticos em que uma sentença pode ter duas ou mais interpretações válidas na mesma linguagem.

No caso tratado neste trabalho, as ambigüidades sintáticas se manifestam sempre que, em um ponto qualquer da análise de uma sentença, for possível o reconhecimento correto, em algum prefixo da parte ainda não analisada da cadeia de entrada, de mais de uma das construções sintáticas permitidas naquele ponto da sentença.

Muitas vezes, os reconhecedores de linguagens ambíguas podem lidar com as ambigüidades simplesmente buscando a aceitação de uma - talvez a mais usual, ou a mais facilmente identificada, ou a de tratamento mais simples - das interpretações possíveis para a sentença, sendo as demais interpretações ignoradas.

Outros efetuam um tratamento exaustivo, considerando todas as possíveis interpretações e buscando o conjunto completo de interpretações válidas para a sentença.

Neste trabalho, a proposta adaptativa adiante apresentada busca o conjunto de todas as interpretações da sentença, tratando de maneira uniforme os não-determinismos e as ambigüidades.

Para isso, o reconhecedor adaptativo é construído de tal forma que as construções normais sejam aceitas da forma usual, e que as situações de não-determinismo ou de ambigüidade, uma vez identificadas, criem, para serem executadas em paralelo, cópias modificadas do autômato, cada uma das quais capaz de reconhecer uma das possíveis construções sintáticas válidas.

O paralelismo da operação desses autômatos é simulado através da sua execução alternada, passo a passo, em que cada um deles efetua uma transição por vez, correspondente ao consumo de um símbolo da cadeia de entrada.

As diversas versões do autômato vão sendo executadas simultaneamente, sendo descartadas aquelas que não permitirem o prosseguimento do reconhecimento, e sendo consideradas vitoriosas aquelas que conseguirem esgotar a cadeia de entrada em uma situação final.

Havendo mais de uma máquina vitoriosa, para a mesma sentença, isso será indicativo de que a sentença em questão tem mais de uma interpretação válida, decorrente da ambigüidade da linguagem.

4. O MÉTODO PROPOSTO

Delinea-se a seguir, qualitativamente, um método de construção de um autômato adaptativo a partir de uma gramática da linguagem natural, expressa na notação de Wirth [2].

1. Para cada regra da gramática, aplicam-se transformações de substituição, de forma que seja reduzido a um mínimo o número de não-terminais presentes na gramática. A cada um desses não-terminais remanescentes corresponderá uma sub-máquina específica.

2. Em cada regram identificam-se todas as construções sintáticas que correspondam a seqüências de símbolos que devem figurar obrigatoriamente na sentença.

3. Normalmente, entre as cadeias de elementos obrigatórios das sentenças, podem figurar agrupamentos de elementos não obrigatórios mas que apresentem prefixos comuns.

Deve-se colocar em evidência, em primeiro lugar os prefixos mais longos, que sejam comuns ao maior número possível de grupos, repetindo-se a operação enquanto em qualquer dos agrupamentos resultantes restar algum prefixo que possa ser posto em evidência.

4. Obtida a expressão assim fatorada, o autômato adaptativo para a sentença pode ser construído. Uma parte de um autômato (finito ou de pilha estruturado) deve ser criado para cada uma das seqüências obrigatórias, pelo método convencional. O estado final do autômato adaptativo coincide com o estado final do autômato correspondente à última seqüência de elementos obrigatórios especificados na gramática.

5. Quanto aos elementos não-obrigatórios, quando estes não apresentarem prefixos comuns, executa-se o passo 7. Para cada sub-conjunto de elementos do tipo $\{\alpha_1 \dots \alpha_n X_i\}$ ou $\{\alpha_1 \dots \alpha_n X_i\}$ que apresente prefixos comuns $\alpha_1 \dots \alpha_n$, toma-se o estado de saída do autômato que o precede, como origem de transições responsáveis pelo consumo dos n símbolos que compõem o prefixo $\alpha_1 \dots \alpha_n$. Supondo-se que o reconhecimento do prefixos em evidência termina no estado e_n , esse estado será origem de diversas transições, uma para cada um dos componentes sobre os quais se realizou a operação de colocar em evidência o prefixo $\alpha_1 \dots \alpha_n$. Estas transições são responsáveis pelo consumo dos respectivos sufixos. A cada uma das transições está associada uma ação adaptativa. Para os componentes que figuram entre colchetes, a ação adaptativa deve eliminar a própria transição, bem como as transições referentes aos componentes que o precedem na sentença. Para os componentes que figuram entre chaves, a ação adaptativa deve apenas eliminar as transições referentes a todos os componentes que o precedem na sentença.

6. Caso haja ambigüidades caracterizadas pela presença de sentenças da forma:

$$S \rightarrow S_1 S_2 \dots S_n,$$

onde $S_i, 1 \leq i \leq n$, é uma seqüência não-obrigatória constituída minimamente pelo conjunto de elementos: $\alpha_1 \alpha_2 \dots \alpha_m$, deve-se aplicar o método que se segue.

Considerem-se as máquinas M_1, M_2, \dots, M_n capazes de reconhecer as seqüências S_1, S_2, \dots, S_n , respectivamente.

Em sua configuração inicial, o autômato adaptativo apresenta:

I) Uma sub-máquina principal que tem um único estado, que é origem e destino de um conjunto de transições, as quais vão consumindo, um por vez, cada um dos símbolos da cadeia de

entrada. A essas transições estão associadas as ações adaptativas A_1, A_2, \dots, A_m .

II) Conjunto das sub-máquinas originais M_1, M_2, \dots, M_n , reconhedoras das seqüências originais S, S_2, \dots, S_n , respectivamente, construídas a partir das etapas delineadas nos itens 3 a 5 do presente método.

III) Lista de apontadores: A lista de apontadores é empregada para manter um conjunto de transições em vazio. Tais transições apontam para o estado corrente de cada um dos autómatos responsáveis pelo reconhecimento das diversas possíveis interpretações, as quais são representados como sub-máquinas.

Em sua configuração inicial, este autômato apresenta dois estados. A transição entre os dois estados se dá mediante a execução de uma ação adaptativa posterior B , sem consumo de símbolos. A ação adaptativa B é responsável por criar as sub-máquinas M'_1, M'_2, \dots, M'_n , cópias das máquinas originais M_1, M_2, \dots, M_n de tal forma que quando o processo de aceitação de seqüências ambíguas se inicia, todas as interpretações possíveis para a primeira ocorrência dos símbolos $\alpha_1\alpha_2\dots\alpha_m$ possam ser consideradas. A cada um dos autómatos recém-criados é atribuído um ponteiro que deve ser inserido nesta lista de ponteiros. A ação adaptativa B também remove a transição que lhe referencia.

A partir desta configuração inicial, o processo de reconhecimento de cadeias de símbolos que apresentam ambigüidade sintática se dá da seguinte forma:

- a) A operação tem início no estado inicial da lista de apontadores, quando a ação B é executada e conseqüentemente sub-máquinas são acrescentadas ao autômato adaptativo e seus respectivos ponteiros são inseridos na lista de apontadores.
- b) O controle do autômato adaptativo é passado para a sub-máquina principal que consome os elementos da cadeia de entrada e as ações adaptativas A_1, A_2, \dots, A_m são executadas. Estas ações adaptativas, promovem a simulação da aceitação da cadeia de entrada pelas máquinas apontadas pela lista de apontadores, ou seja, realiza-se a simulação da transição de estados sobre cada máquina M'_k , $1 \leq k \leq n$ presente no autômato. De fato, a transição em vazio que tem como origem o ponteiro da lista de apontadores para cada máquina M'_k é removida e substituída por outra transição que tem como origem o mesmo estado apontador e apresenta como destino aquele estado para o qual o reconhedor M'_k transitaria se o elemento da cadeia de entrada recém-consumido fosse aceito. Se a configuração da máquina M'_k for tal que a aceitação do elemento da cadeia de entrada não possa ser efetuada, o ponteiro para esta máquina é removido de forma que a correspondente interpretação S_k é descartada. Tal procedimento naturalmente, não impede que se dê continuidade ao processo de simulação em outras máquinas apontadas pela lista de apontadores.
- c) Sempre que um estado é alcançado pelo ponteiro, ele é consultado quanto às transições presentes. Se as transições forem de chamada de sub-máquina, tais transições estão associadas a ações adaptativas de cópia. Assim, quando se trata da simulação da aceitação do símbolo α_k que é consumido por uma transição, cujo estado destino apresenta transições de chamadas de sub-máquinas $M_k, M_{k+1}, \dots, M_{k+n}$, tais transições estão associadas às ações adaptativas de cópia $C_k, C_{k+1}, \dots, C_{k+n}$, que irão promover cópias das máquinas $M_k, M_{k+1}, \dots, M_{k+n}$. As ações adaptativas de cópia criam ponteiros para cada cópia efetuada e insere os mesmos na lista de ponteiros. Ainda, cada uma das ações adaptativas de

cópia de sub-máquina devem promover $n-k+1$ cópias da máquina atual chamadora. A ação adaptativa de cópia também deve criar uma transição em vazio do estado de retorno para a máquina chamada. Salienta-se assim que se às transições de chamadas de sub-máquina estiverem associadas ações adaptativas de cópia (explicadas nesta etapa), bem como ações adaptativas de eliminação (indicadas em 5), assegura-se que se a interpretação S_k foi atribuída à atual ocorrência da seqüência de símbolos $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m$, as máquinas reconhedoras das interpretações $S_{k+1}, S_{k+2}, \dots, S_n$ estarão presentes no autômato na ocasião do reconhecimento da próxima ocorrência da seqüência de símbolos.

- d) O item b se repete para todas as máquinas apontadas pela lista de ponteiros. No final da simulação, um novo ciclo de processo de reconhecimento deve ser iniciado para outra eventual ocorrência da seqüência de símbolos.
- e) Uma vez que não haja mais seqüências ambíguas de símbolos na cadeia de entrada, uma ação adaptativa D é executada com o propósito de testar todos os estados correntes de todos os reconhedores que não foram descartados, ou seja, o conjunto de todos os estados apontados pelas remanescentes transições em vazio que emanam dos estados da lista de apontadores. Eliminando-se então as transições auxiliares que apontam estados não-finais, são descartadas todas as interpretações do texto fonte cujos correspondentes autómatos não tenham logrado sucesso em seu reconhecimento.
- f) Uma transição para o estado final do autômato adaptativo é executada, encerrando-se sua operação.
- g) A metodologia indicadas nos itens "a" a "e", resulta em uma lista de ponteiros para as sub-máquinas que reconhecem todas as interpretações válidas para a cadeia de símbolos que acabou de ser analisada.

7. Na ausência de prefixos comuns, o autômato correspondente aos componentes sintáticos não-obrigatórios é construído partindo do estado de saída do autômato referente à seqüência precedente de elementos obrigatórios. Esse estado será origem e destino de tantas transições quanto forem os componentes delimitados entre colchetes ou chaves na regra gramatical. Estas transições são responsáveis pelo reconhecimento dos componentes opcionais. Analogamente ao que foi mencionado no item 5, a cada uma dessas transições está associada uma ação adaptativa. Para os componentes da regra que figuram entre colchetes, as ações adaptativas eliminam a própria regra, e também removem as transições responsáveis pela trajetória de reconhecimento dos componentes que a precedem, na regra gramatical. Para os componentes que figuram entre chaves, a ação adaptativa elimina apenas as transições referentes aos componentes que a precedem, na regra.

8. O estado final do autômato adaptativo é, como já foi mencionado no passo 6, o estado de saída do autômato referente à última seqüência obrigatória de elementos da regra gramatical, e coincide com o estado final de cada um dos trechos do autômato adaptativo que reconhecem os grupos de componentes opcionais que eventualmente figurem após a última seqüência de elementos obrigatórios da sentença.

9. Sempre que figurarem não-terminais na gramática, as transições do autômato, a eles correspondentes, devem ser do tipo de chamada da sub-máquina associada ao referido não-terminal.

6. APLICAÇÃO

Apresenta-se, a seguir, a aplicação de alguns procedimentos, baseados nas técnicas adaptativas, à resolução sintática dos problemas mencionados do não-determinismo e da ambigüidade.

Como exemplo ilustrativo, indica-se a construção de um desses autômatos a partir de uma gramática que define uma aproximação livre de contexto de um pequeno, porém significativo, subconjunto da língua portuguesa.

A idéia desta aplicação é a de ilustrar o emprego do método descrito anteriormente, que apresenta uma aplicabilidade relativamente geral, e que, uma vez devidamente estendido para levar em consideração os aspectos da linguagem natural não considerados na simplificação imposta, pode operar como parte integrante de ambientes mais completos de processamento de linguagens naturais.

7. GRAMÁTICA EMPREGADA

Para exemplificar, seja uma gramática como a descrita abaixo, que define grosseiramente alguns dos principais aspectos de uma linguagem natural (no caso, a linguagem natural usada como base para o raciocínio é a língua portuguesa), de uma forma puramente sintática e sem considerar os importantes aspectos da dependência de contexto, que certamente deverão ser levados em conta em outras etapas do processamento da linguagem.

1. $O \rightarrow [SS_1] SV [SS_2] \{SP\} [SS_3] SA [SAdv | SP] \{SAdv | SP\} \{SAdv | SP\}$
2. $SS \rightarrow [Def] [SA1] S [SA2] [SP] [OSA]$
3. $SV \rightarrow \{Adv\} \{Aux\} V \{Adv\}$
4. $Aux \rightarrow [Aux\ modal] [Aux\ perfectivo] [Aux\ progressivo] [Aux\ incoativo]$
5. $SP \rightarrow Prep\ SS$
6. $SA \rightarrow [Adv\ intensidade1] [Adv\ intensidade2] A [SP] [OSAAdv]$
7. $SAdv \rightarrow [Adv\ intensidade_1] [Adv\ intensidade_2] Adv [SP] [OSAAdv]$

Fig. 1 - Gramática muito simplificada de um subconjunto da língua portuguesa (extraída de [4])

Na meta-linguagem adotada, barras verticais separam possíveis alternativas. Elementos obrigatórios são representados por seqüências não delimitadas, ou então, delimitadas por parênteses; elementos opcionais são representados por seqüências entre colchetes, enquanto elementos que se podem repetir indefinidamente são denotados como seqüências entre chaves.

As seqüências não delimitadas ou delimitadas por parênteses figuram obrigatoriamente, portanto, uma e uma única vez na sentença. Os elementos delimitados por colchetes apresentam-se 0 ou 1 vez naquele ponto da sentença, e os elementos delimitados por chaves não são também obrigatórios, mas, se figurarem, podem apresentar uma ou mais ocorrências naquele ponto.

8. EXEMPLO: TRATAMENTO DE AMBIGÜIDADE

Para fins de apresentação de um exemplo de aplicação do método para ambigüidades encontradas entre as regras (2), (5) e (6) extraiu-se o subconjunto da linguagem dado pela gramática da fig. 2.

- 2a. $SS \rightarrow S [SA2] [SP]$
- 5a. $SP \rightarrow Prep\ SS$
- 6a. $SA \rightarrow A [SP]$

Fig. 2 - Subconjunto simplificado gramática da fig. 1

Seja a cadeia de entrada da forma: **saps** onde, s, a, e p representam ocorrências de um substantivo, adjetivo e preposição, respectivamente.

Trata-se de uma cadeia de símbolos ambígua devido à presença do símbolo "p", que inicializa um sintagma preposicional. De fato, observa-se que ao se substituir a produção 6a na produção 2a, obtém-se a seguinte produção: $SS \rightarrow S \{A[SP]\}[SP]$

onde se constata que a ocorrência de qualquer cadeia derivada de **SP** pode ser interpretada como pertinente a um sintagma adjetivo ou pertinente a um sintagma substantivo.

Para o tratamento desta ambigüidade, deve-se aplicar o item 6 do método proposto. Para tanto o reconhecedor deve apresentar além das sub-máquinas originais dos autômatos reconhedores **SP**, **SS** e **{SA}**, a sub-máquina **P**, responsável pelo consumo dos átomos, bem como a lista de ponteiros, **LP**. Observem-se as figuras 3 e 4.

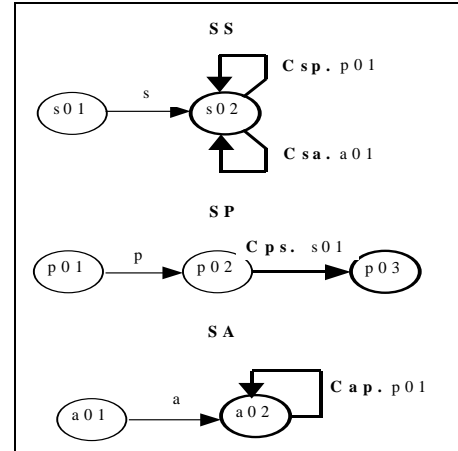


Fig. 3 - Máquinas Originais reconhedoras das regras apresentadas na Fig. 2

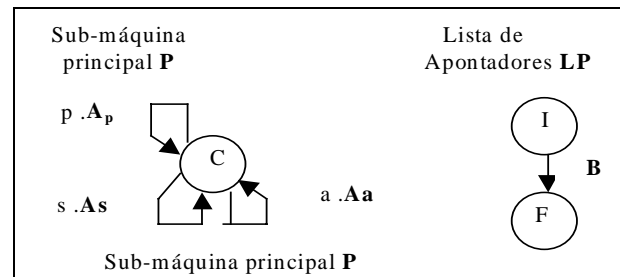


Fig. 4 - Sub-máquinas para o tratamento da ambigüidade referente à ocorrência de um sintagma preposicional.

A ação adaptativa B é executada e conseqüentemente promove a cópia da máquina original do sintagma substantivo. A configuração do reconhecedor é apresentado na figura 5.

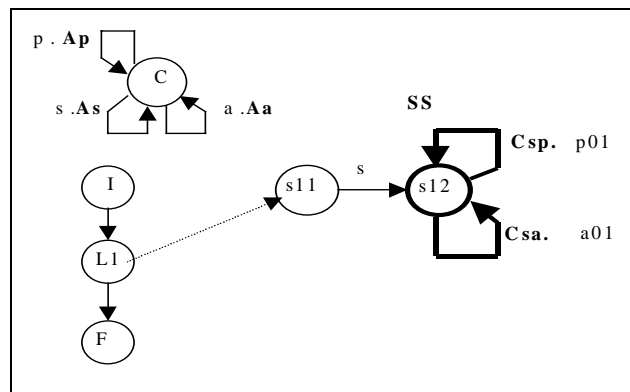


Fig. 5 - Reconhecedor após a cópia da sub-máquina SS.

A figura 6 apresenta a configuração do autômatos reconhecedor após a aceitação da sub-cadeia de entrada "sa".

Observe-se a presença de sub-máquinas resultantes de cópias das sub-máquinas originais chamadas na ocorrência de transições de

chamadas de sub-máquinas e respectivos ponteiros, das cópias das máquinas chamadoras e respectivos ponteiros, bem como das transições em vazio para retorno de sub-máquina.

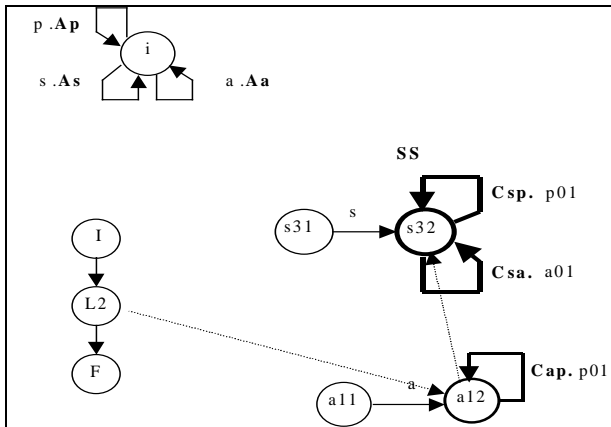


Fig. 6 - Configuração do reconhecedor após a aceitação subcadeia "sa", que é classificada como sintagma adjetivo.

A figura 7 apresenta a configuração do autômato após a aceitação do átomo de entrada "p"

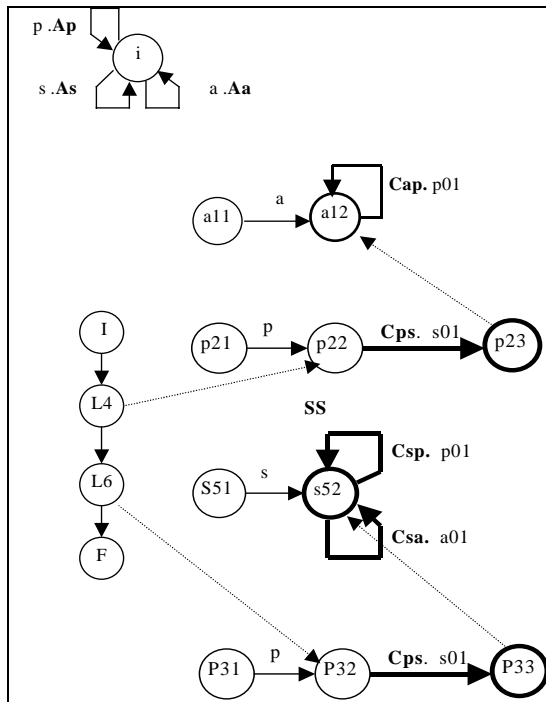


Fig. 7 - Configuração do reconhecedor após o consumo do símbolo "p".

Observa-se, na figura 8, que representa a configuração final do autômato, que após o consumo do átomo de entrada "s", a trajetória $s72 \rightarrow p33 \rightarrow s52$ caracteriza a ocorrência do sintagma preposicional formado pela subcadeia "ps", como pertencente ao sintagma substantivo, e a trajetória $s62 \rightarrow p23 \rightarrow a12$ caracterizam a ocorrência do sintagma preposicional na subcadeia de entrada os como pertencente ao sintagma adjetivo. Analogamente a trajetória $s72 \rightarrow p33 \rightarrow s52$ caracteriza a ocorrência do sintagma preposicional na subcadeia de entrada ps como pertencente ao sintagma substantivo.

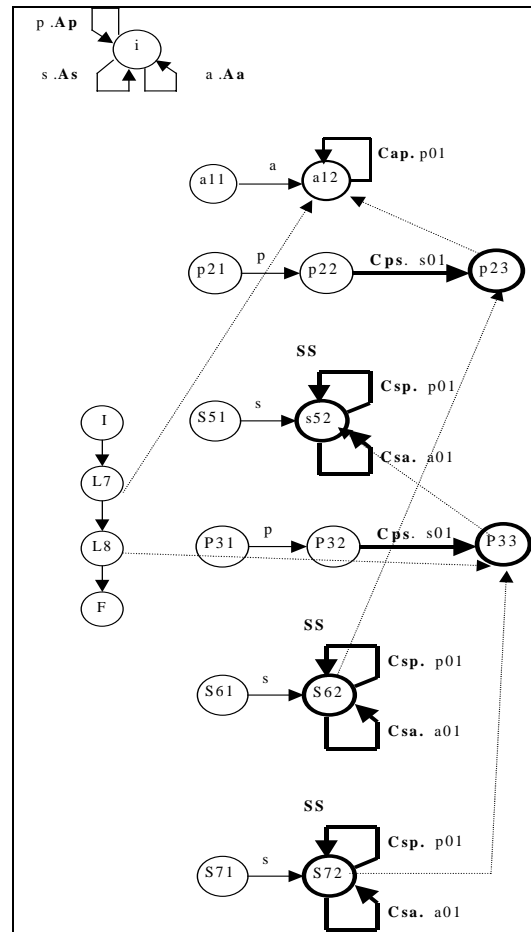


Fig. 8- Configuração do reconhecedor ao final da aceitação da cadeia de entrada "saps".

Este exemplo mostra portanto que o método proposto neste trabalho, permite a aceitação da cadeia de entrada "saps", bem como identifica as duas interpretações possíveis para a subcadeia "ps", a saber, sintagma preposicional de um sintagma substantivo e sintagma preposicional pertinente a um sintagma adjetivo.

9. CONCLUSÃO

O método aqui adotado para a construção de um autômato adaptativo a partir da gramática consiste em desenhar uma máquina de estados inicial que reconheça qualquer cadeia válida de símbolos representada pelo conjunto disponível de regras gramaticais.

Não é usado nenhum método de construção de reconhecedores convencional a partir de gramáticas livres de contexto, mas explora-se a característica adaptativa do modelo de reconhecimento adotado.

À primeira vista, o autômato adaptativo assim obtido pode parecer um tanto estranho, razão pela qual passa-se a explicar as razões pelas quais o autômato é construído dessa maneira.

Às transições em que se manifestam os não-determinismos são associadas ações adaptativas, responsáveis pelas auto-modificações estruturais no autômato.

Assim, partindo-se de um autômato em que todas as possíveis transições estejam inicialmente explícitas, à medida que os símbolos da sentença analisada são lidos, os correspondentes não-determinismos vão sendo adequadamente identificados, e, se possível, resolvidos.

Isso se dá pela identificação de propriedades particulares do texto de entrada, e pela eliminação adaptativa das transições indesejáveis que estiverem associadas aos eventuais não-determinismos correspondentes.

Dessa forma, uma vez que os caminhos do autômato que forem incompatíveis com a sintaxe da cadeia de entrada sejam sistematicamente removidos, a operação do reconhecimento da cadeia de entrada se fará sempre de forma determinística, através do consumo de um símbolo a cada transição efetuada.

Assim, o autômato permanece operando com um conjunto reduzido de estados, o que leva a máquina a operar com bom desempenho, ainda que na presença de não-determinismos.

É possível provar que o comportamento temporal desses autômatos é bastante adequado também em relação ao comprimento da cadeia de entrada, mesmo nos casos de ambigüidade e não-determinismo.

Pode-se assim concluir que o processamento de linguagens naturais pode ser efetuado de forma bastante satisfatória com o emprego de autômatos adaptativos, o que torna essa técnica bastante atraente para fins práticos.

10. REFERÊNCIAS

- [1] JOSÉ NETO, J. **Adaptive rule-driven devices – general formulation and case study** Proc. Of the 6th conference in implementation and applications of automata, Pretoria, South Africa, 23-25 July, 2001, pp. 158-176.
- [2] JOSÉ NETO, J. **Adaptive automata for context-dependent languages**. ACM SIGPLAN NOTICES. V.29, n.9, p.115-124, 1994.
- [3] SHUTT, J.N. **Self-modifying finite automata** - Power and limitations. Technical Report WPI-CS-TR-95-4, Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Massachussets, December, 32p, 1995.
- [4] LUFT, C.P. **Novo manual de Português**, Editora Globo, S. Paulo, 1995.
- [5] ALLEN, J. **Natural Language Understanding**. Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 2nd edition, 1994.